

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра електронних приладів та пристроїв**

(повна назва кафедри)

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

**Дипломний робота**  
**освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»**  
(назва ОКР)

з спеціальності : **6.050802- Електронні пристрої та системи**

Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**

на тему: Система передачі даних

**Виконав:**

студент IV курсу, гр. ДЕ-51

\_\_\_\_\_ **Молочко Олександр Сергійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ **ст. викладач Бевза Олег Миколайович**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультанти:**

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ **доцент к.т.н. Чадюк В'ячеслав Олексійович**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет                      Е л е к т р о н і к и  
Кафедра                        Електронні прилади та пристрої  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр  
Спеціальність: 6.050802– Електронні пристрої та системи  
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої  
**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_ Л.Д.Писаренко    « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломний проект студенту  
**Молочку Олександр Сергійовичу**

**1. Тема проекту «Система передачі даних»**

і керівник проекту **Бевза Олег Миколайович, ст. викладач**  
затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р., № 1405-с

**2. Строк подання студентом проекту «4» червня 2019 р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** Розробити систему передачі даних, для керування 8-ми бітною шиною даних. Амплітуда вихідного сигналу до 24 В. Максимальна частота вхідного сигналу – до 1 МГц.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по схемо-технічним принципам побудови та функціонування перетворювачів інтерфейсу; розробка схем структурної, електричної принципової пристрою; розробка конструкторської документації на друковану плату; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.

**5.Перелік графічного матеріалу:** Структурна та електрична принципова схеми пристрою, креслення друкованої плати перетворювача інтерфейсу, плакати з рисунками, графіками та формулами

**7. Дата видачі завдання 20.01.2019 р.**

## ***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН***

<b>№</b>	<b>Назва етапів дипломної роботи</b>	<b>Строк виконання етапів роботи</b>	<b>Примітка</b>
1	Огляд науково-технічної літератури по перетворювачам інтерфейсу	01.02.2019 – 22.02.2019	
2	Розробка структурної та електричної принципової схем	04.03.2019 – 29.03.2019	
3	Розробка конструкторської документації на пристрій (креслення друкованої плати)	02.04.2019 – 15.04.2019	
4	Технологія виготовлення друкованої плати	15.04.2019 – 26.04.2019	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	02.05.2019 – 30.05.2019	

Студент гр. ДЕ-51

\_\_\_\_\_

О.С. Молочко

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

О.М.Бевза

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4				Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	БР.6.050802.051.016 ПЗ			Пояснювальна записка	1	
3	A1	БР. 6.050802.051.016 ЕЗ			Система передачі даних Схема електрична принципова	1	
4	A1	БР. 6.050802.051.016 Е4			Система передачі даних Друкована плата	1	
5	A2	БР. 6.050802.051.016 СА			Система передачі даних Алгоритм роботи пристрою	1	
6	A4	БР. 6.050802.051.016 ТЗ			Технічне завдання	1	
7	A4	БР. 6.050802.051.016 ПЕ			Перелік елементів	2	

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
студента кафедри електронних приладів та пристроїв факультету електроніки  
Київський Політехнічний Університет імені Ігоря Сікорського  
**Молочка Олександра Сергійовича**

на тему: «Система передачі даних»

Київ – 2019

## **Р Е Ф Е Р А Т**

### **Електронна система моніторингу життєвих показників людини**

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 6.050802- Електронні пристрої та системи, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Молочко Олександр Сергійович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – 75 с., іл. 31, табл. 11.

**Ключові слова :**UART, оптопара, СПД, нормуючий підсилювач, АЦП, мікроконтролер, гальванічна розв'язка, транзисторний ключ, ATMEGA16

#### **Короткий зміст роботи:**

У дипломному проекті виконано огляд науково-технічної літератури з обладнання систем передачі даних та загальних відомостей про реалізацію типових систем на базі мікроконтролерних систем. Було розроблено пристрій передачі даних з наступними параметрами та функціями:

- Передача даних через USB інтерфейс
- Підтримка півдуплексної передачі даних (в обидва боки)
- Підключення до мережі Wi-Fi
- Можливість перепрограмування мікроконтролера

Показано перспективи використання таких пристроїв для промислового використання. Наведені параметри та характеристики системи передачі даних, розраховані параметри друкованої плати.

У ході виконання завдання дипломної роботи були розроблені структурна та електрична принципова схеми системи.

## **А Н О Т А Ц І Я**

В дипломній роботі представлено огляд науково-технічної літератури по існуючим системам передачі даних, зазначені переваги та недоліки вже існуючих систем. При ознайомленні з системою передачі даних більш детально, можна зробити висновок, що найважливішими параметрами, з якими пов'язана робота системи передачі даних, є швидкість передачі, режими роботи, підтримувані інтерфейси виведення даних, а також надійність та захищеність від перешкод. Необхідність точної роботи необхідна при керування системами виробництва.

Розроблена конструкція пристрою, структурна та електрична принципова схеми системи передачі даних.

## **S U M M A R Y**

The dissertation presents a review of scientific and technical literature on existing systems of data transmission, the advantages and disadvantages of existing systems. When you familiarize yourself with the data transmission system in more detail, one can conclude that the most important parameters associated with the operation of the data transmission system are the speed of transmission, operating modes, supported data interfaces, and the reliability and security of interference. The need for accurate work is needed when managing production systems.

The design of the device, the structural and electrical principle diagram of the data transmission system are developed.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВО-ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	8
1.1. Системи передачі даних .....	8
1.2. Огляд гальванічних розв'язок .....	11
1.3. Огляд перетворювачів сигналу .....	14
Висновок .....	16
РОЗДІЛ 2. Розробка схеми системи передачі даних .....	17
2.1 Розробка структурної схеми .....	17
2.2 Вибір мікроконтролера .....	18
2.3 Розробка модулю 8-бітного інтерфейсу .....	20
2.4 Розробка модулю перетворювача DC/DC 36В в 24В .....	24
2.5 Розробка модулю перетворювача DC/DC 24В в 5В .....	26
2.6 Розробка 8-бітного виходу .....	28
2.7 Розробка модулю шини USB .....	29
2.8 Розробка модулю Wi-Fi .....	31
Висновки .....	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ .....	34
3.1 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати .....	35
3.2 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати .....	36
3.3 Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати .....	37
3.4 Вибір та обґрунтування класу точності .....	38
3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати .....	40
3.5.1 Розрахунок елементів печатного монтажу за постійним струмом .....	40
3.5.2 Визначення номінального значення перехідних отворів .....	42
3.5.3 Визначення номінального значення монтажних отворів .....	42
3.5.4 Визначення діаметру контактної площадки для двосторонніх ДП виготовлених комбінованим позитивним методом .....	43
3.5.5 Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунку .....	44
3.6. Електричний розрахунок друкованої плати .....	45
3.6.1 Визначення падіння напруги на друкованих провідниках .....	45
3.6.2 Визначення потужності втрат .....	45
3.6.3 Визначення взаємної ємності паралельних провідників .....	46

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ			
Змн	Анк	№ доквм	Піппис	Лата	Система передачі даних	Літ	Анк	Анквпів
Розроб	Молочко О.С.							
Пепевін	Бевза О.М.							62
Реценз.								
Н. Контр	Чалюк В.О.							
Затверд	Писаренко					«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		



3.6.4 Визначення вза'ємної індуктивності паралельних провідників .....	46
3.7. Розрахунок надійності .....	46
3.7.1 Розрахунок віброміцності .....	50
3.8 Розробка посадкових місць.....	53
3.9 Створення друкованої плати у САПР .....	57
Висновки .....	62
<b>ВИСНОВОК 63</b>	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	64

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

UART	універсальний асинхронний приймач/передавач
СПД	Система передачі даних
АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
ATMega16	Мікроконтролер
USB	Універсальна послідовна шина
НОДА	Вузол

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Арк
						6
Змн	Арк	№ локум.	Піппис	Дата		

## ВСТУП

На сьогоднішній день неможливо собі уявити виробництво без використання електронних систем моніторингу. Їх стає все більше і більше, тому з'явилася проблема із з'єднанням даних від різних ліній між собою. Кількість дротів стала настільки великою, що було прийнято рішення використовувати спеціальний спосіб поєднання компонентів – шини передачі даних. Це призвело до того, що стало можливим контролювати кожну ноду та повністю змінило архітектуру усіх великих електронних систем.

Не дивно, що в такій складній системі, як сучасне виробництво. Кількість даних які надходять від різних систем моніторингу унеможлиблює використання лише дротових систем передавання даних.

Для моніторингу усіх систем потрібно підключатися до шини даних, для цього можна використовувати серверні системи під'єднані дротами, але такі системи є дуже дорогими. З іншого боку є доцільним використання бездротової системи з сервером. У такому разі підключитися до шини можна без прокладки великої кількості дроту та зберегти швидкодію.

В даній роботі спроектовано систему передачі даних для підключення до низько швидкісних систем, таких як моніторинг браслету антистатичного захисту, систем виявлення дефектів пайки та систем виявлення відсутності елементів. Особливістю цих систем є невелика кількість даних для передачі. Це дає змогу використовувати прості та недорогі компоненти та об'єднувати велику кількість даних систем в одну мережу.

Завданням дипломної роботи є розробка системи передавання даних для підключення до виробничих ліній моніторингу. Система має відповідати наступним вимогам:

- Підключення до Wi-Fi мережі
- Підключення до ноутбука
- Підключення інших пристроїв за допомогою 8-бітної шини
- Живлення від мережі 36 В
- Можливість легко завантажувати програмне забезпечення на мікроконтролер

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
						7
ЗМН	Анк	№ локум	Піппис	Лата		

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВО-ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Системи передачі даних

Система передачі даних - це сукупність засобів, що служать для передачі інформації (рис. 1.1).

Технічні засоби передачі даних - це засоби з'єднання і передачі даних між пристроями. Дані засоби представлені: модемами, мережевими адаптерами, мережовим середовищем передачі даних

Мережевий адаптер дозволяє підключити комп'ютер в мережу, тобто створити нову мережеву станцію.

Класифікація систем передачі даних



Рис 1.1 Класифікація систем передачі даних

Середовище передачі даних - фізичне середовище, через яке може відбуватися передача даних (рис. 1.2).

Середовища передачі даних поділяться на дві категорії: кабельне середовище та бездротове середовище.

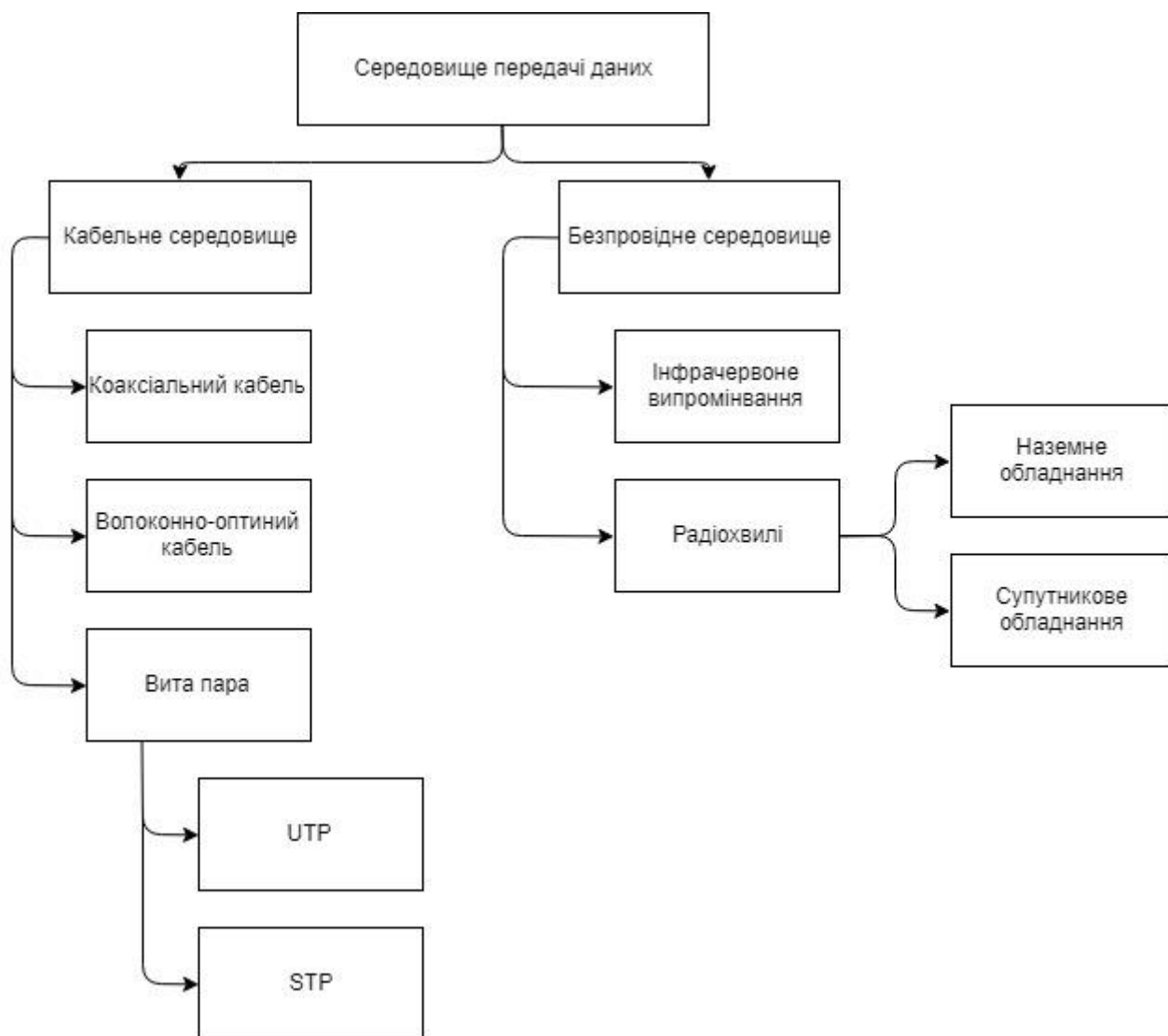


Рис 1.2. Класифікація середовищ передачі даних

Кабельна середовище передачі даних повинно мати певні види кабелів. Трьома найпоширенішими типами кабелю є: оптоволоконний кабель, вита пара та коаксіальний кабель.

Вита пара (Twisted Pair) містить декілька пар скручених мідних провідників, укладених в порожнисту оболонку. Розрізняють два типи даних кабелів: неекрановану виту пару (UTP) та екрановані виту пару (STP).

Коаксіальний кабель (Coax) має два провідника із загальною центральною віссю. У центрі такого кабелю проходить суцільний мідний провід, одножильний або багатожильний. Він укладений в пластиковий ізолюваний шар. Розрізняють два типи коаксіальних кабелів: тонкий коаксіальний кабель (thin coaxial cable) і товстий коаксіальний кабель (thick coaxial cable).

Волоконно-оптичний кабель (Fiber Optic) виготовляється з пластикових волокон або світлопровідного скла. FDDI - стандарт передачі даних в мережі, прокладеною на відстань до 200 км. Цей стандарт заснований на протоколі кільцевої передачі даних. Окрім великої території покриття, дана мережа здатна підтримувати понад тисячу користувачів.

В якості середовища передачі даних рекомендується застосовувати оптоволоконний кабель, проте можна його можна замінити й на мідний, в такому випадку використовується скорочення CDDI .

В якості топології використовується схема подвійного кільця, при даній схемі включення дані в кільцях циркулюють в протилежних напрямках. Одне кільце вважається основним, по ньому передається інформація в звичайному стані; друге - допоміжним, по ньому дані передаються в разі обриву на першому кільці. Для контролю за станом кільця використовується мережевий маркер, як і в технології Token Ring.

Оскільки такий принцип роботи системи дає підвищену надійність, то даний метод застосовується в магістральних каналах зв'язку

Бездротове середовище передачі даних застосовуються в разі, коли між точками передачі інформації велика відстань або перешкоди ускладнюють застосування провідного або оптичного методу передачі даних. Існує два основних типи бездротового середовища: радіохвильовий та інфрачервоне випромінювання.

Радіохвильові системи передачі даних можна розділити на декілька типів: наземні мікрохвильові комунікації та супутникові. Основна відмінність супутникових систем полягає в тому, що одна антена знаходиться на супутнику, що висить над землею на геостаціонарній орбіті.

Технологія WiFi — на сьогоднішній день одна з найперспективніших в області радіозв'язку. Технологією WIFI називають формат передачі цифрових даних по радіоканалу.

На початку розвітку WiFi були призначені для корпоративних користувачів, щоб полегшити роботу по прокладці мережі в офісах. Для провідної мережі потрібна кропітка розробка топології мережі і прокладка

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
						10
ЗМН	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		

декількох сотень метрів кабелю, інколи в найнесподіваніших місцях. Для організації бездротової мережі потрібно лише встановити в певних точках офісу базові станції та вставити в кожен комп'ютер мережеву плату з підтримкою WiFi. Після цього пересування людей та навіть переїзд в новий офіс не зруйнує одного разу створену мережу.

Технологія IrDA (Infra red Data Assotiation) дозволяє з'єднуватися з різноманітним обладнанням без провідного з'єднання за допомогою інфрачервоного випромінювання. Порт IrDA дає можливість встановлювати зв'язок на відстані до 1 м в режимі "точка-точка"[1].

## 1.2. Огляд гальванічних розв'язок

Технічним завданням дано умову, що проектована СПД має бути гальванічно розв'язаною.

Гальванічна розв'язка - передача енергії або інформаційного сигналу між електричними ланцюгами, що не мають безпосереднього електричного контакту між ними. [2] [3]

Гальванічні розв'язки використовують для передачі сигналів задля зниження перешкод, для безконтактного керування і з метою захисту обладнання від пошкодження, а людей - від ураження електричним струмом.

Існує декілька видів гальванічних розв'язок, наприклад:

- індуктивна розв'язка;
- оптоелектронна розв'язка;
- діодна оптопара;
- транзисторна оптопара.

Оптоелектронні та оптичні розв'язки зазвичай застосовують у сучасних цифрових схемах з метою передачі аналогових сигналів з оптимізованою точністю. У пристроях цього типу сигнал передається за допомогою оптичного випромінювання і використовується виключно для передачі інформаційних

сигналів, так як через такі розв'язки важко і технічно недоцільно передавати велику потужність.

Оптоелектронна розв'язка, на відміну від трансформаторної, має значно менші габарити, більш дешева й має можливості передавати повільно мінливі сигнали, у тому числі й сигнали постійного струму.

Недоліком оптичної розв'язки щодо передачі аналогових сигналів низьких частот вважається суттєва нелінійність каналу під час передачі сигналу, нерівномірність коефіцієнта передачі - 10-30% у всьому діапазоні зміни сигналу.

У діодній оптопарі джерелом світлового потоку є світлодіод. Така оптопара може використовуватися замість ключа і працювати з сигналами частотою в декілька десятків МГц. Недоліком діодних оптопар є те, що керування підвищеними струмами без допоміжних елементів неможливе. Також до недоліків можна віднести їх малий ККД.

Трансформаторна (індуктивна) розв'язка – це гальванічна розв'язка у трансформатора. Первинна обмотка (зверху) електрично ізольована від вторинної обмотки (знизу). Це історично перший вид розв'язок, який використовується досі як для передачі потужності, так і для передачі інформації.

Для побудови трансформаторної (індуктивної) розв'язки необхідно застосувати магнітоіндукційний елемент, який називається трансформатором. Він може бути як з сердечником, так і без нього.

При розв'язці трансформаторного виду застосовують трансформатори з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці. Первинна котушка трансформатора з'єднується з джерелом сигналу, вторинна - з приймачем. Для розв'язки ланцюгів за такою схемою можна застосовувати магнітомодуляційні пристрої на основі трансформаторів. Відповідно, напруга на виході, яка є на вторинній обмотці трансформатора, буде в прямій залежності від напруги на вході пристрою. Індуктивна розв'язка має ряд серйозних недоліків:

- значні габаритні розміри, що не дозволяють виготовити компактний пристрій;

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		12



- частотна модуляція гальванічної розв'язки обмежує частоту пропускання;
- на якість вихідного сигналу впливають перешкоди вхідного сигналу;
- дія трансформаторної розв'язки можлива тільки при змінній напрузі.

Отже, використання індуктивної гальванічної розв'язки стає неможливим через великі габаритні розміри трансформаторів, частотна модуляція гальванічної розв'язки обмежує частоту пропускання, на якість вихідного сигналу впливають перешкоди вхідного сигналу, а дія трансформаторної розв'язки можлива тільки за змінної напруги.

Діодну гальванічну розв'язку вирішено не використовувати, через малий ККД, та через неможливість керування підвищеними струмами без допоміжних елементів. Таким чином, вирішено, що найбільш доцільним є використання транзисторної оптопари.

Транзисторна гальванічна розв'язка має декілька ключових переваг:

- широкий інтервал напруг розв'язки (до 0,5 кВ). Це відіграє велику роль в проектуванні систем введення інформації.
- Може функціонувати з високою частотою, яка досягає декількох десятків МГц.
- Компоненти схеми такої розв'язки мають незначні габаритні розміри.

Оптопари типу H11L1 мають параметри, що відповідають усім поставленим задачам (Рис. 1.3).

Із сімейства оптопар серії H11L1 найточніше відповідає технічним параметрам системи мікросхема H11L1MS, яка має високу завадостійкість. Обрана оптопара повністю задовольняє технічним вимогам завдання.

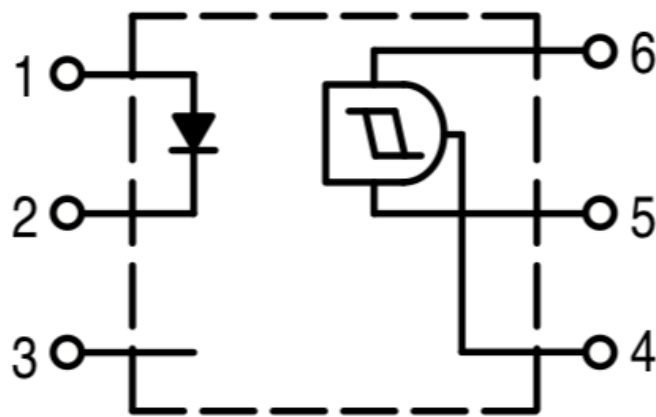


Рис.1.3 Мікросхема H11L1MS

H11L1MS (Рис.1.3) має арсенід-галієвий інфрачервоний діод, який оптично зв'язаний з високошвидкісним інтегрованим детектором з вихідним тригером Шмітта, призначений для додатків, що вимагають електричної ізоляції, малого часу відгуку, завадостійкості та сумісності з цифровою логікою. Діапазон напруги живлення від 3В до 16В, вихідний діапазон напруги від 0В до 16В. Для даних оптопар використовується напруга живлення 5В.

### 1.3. Огляд перетворювачів сигналу

Мікроконтролер – це обчислювально-керуючий пристрій, призначений для виконання функцій контролю й керування периферійним устаткуванням. [4]

Якщо уявити всі типи сучасних мікроконтролерів (МК), то можна здивуватися величезної кількості різноманітних приладів цього класу, доступних споживачеві. Усі ці прилади можна розподілити на такі основні типи:

- вбудовувані (embedded) 8-розрядні МК;
- 16- і 32-розрядні МК;
- цифрові сигнальні процесори.

Основне призначення вбудованих мікроконтролерів - забезпечити за допомогою недорогих засобів гнучке (програмоване) керування об'єктами і зв'язок із зовнішніми пристроями. Ці мікроконтролери не призначені для того,

щоб реалізовувати комплекс складних функцій, але вони здатні забезпечити ефективне керування в багатьох галузях застосування.

Саме через велику швидкодію, великий ККД, малі габарити, простоту використання і був обраний мікроконтролер ATMEGA16 [1].

Мікроконтролер ATMEGA16 8-розрядний АЦП як з несиметричними, так і з диференціальними входами. Має 32 програмовані лінії введення / виводу з рівнями ТТЛ; на ці лінії виведена також підтримка периферійних функцій; напруга живлення 2.7 ... 5.5 В. AVR RISC-архітектура - архітектура високої продуктивності та малого споживання. Є можливість програмування безпосередньо в цільовій системі через послідовні інтерфейси SPI і JTAG. Тактова частота – 16МГц.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		15

## Висновок

Більшість систем передачі даних на даний час випускаються для повсюдного використання, а спеціальних систем передачі даних для контролю виробничого процесу замало. Тому розробка даного пристрою є доцільною.

Серед розглянутих систем передачі даних та середовищ розповсюдження даних було обрано два види. А саме, кабельне середовище передачі даних, для реалізації 8-бітного інтерфесу зв'язку необхідного за технічним завданням та бездротове середовище передачі даних, а саме Wi-Fi мережа. Wi-Fi мережа дає змогу вільного розміщення даного пристрою в просторі, позбавляє необхідності прокладки додаткових ліній та простоту монтажу.

В якості перетворювачу сигналу для зв'язку системи було обрано мікроконтролер ATmega16 через те, що даний мікроконтролер задовольняє потреби в обчислювальних потужностях системи та має досить низьку ціну, що значно зменшує вартість готової системи.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		16

## РОЗДІЛ 2. Розробка схеми системи передачі даних

### 2.1 Розробка структурної схеми

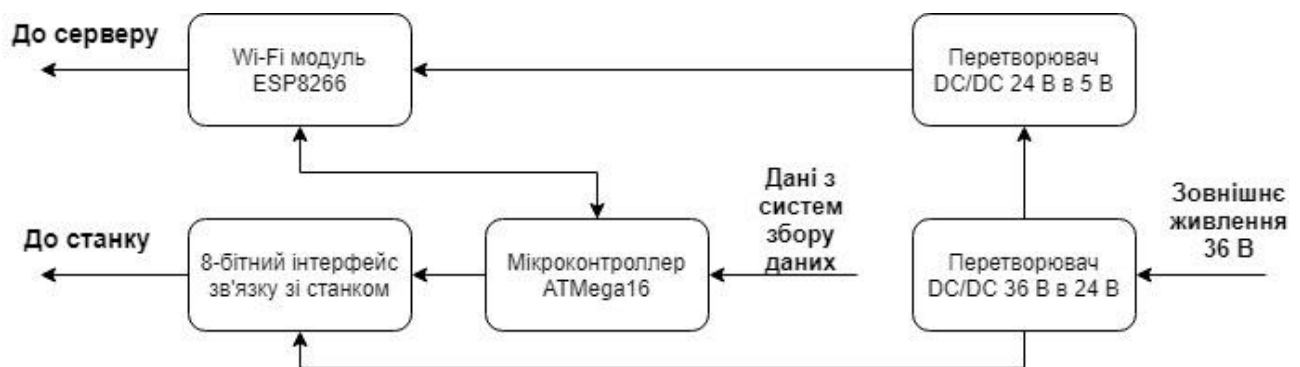


Рис. 2.1 Структурна схема системи передачі даних

Структурна схема представлена у рис 2.1. Складається з наступних блоків:

- Мікроконтролер ATmega16
- Wi-Fi модуль ESP8266
- 8-бітний інтерфейс зв'язку зі станком
- Перетворювач DC/DC 24В в 5В
- Перетворювач DC/DC 36В в 24В

Мікроконтролерний блок призначений для прийому сигналу з систем збору даних, обробки в залежності від коду та передачі отриманих даних та передачі їх на Wi-Fi модуль та 8-бітний інтерфейс зв'язку зі станком.

Блок Wi-Fi здійснює підключення до локальної бездротової мережі з такими ж пристроями. Найголовніша функція даного блоку полягає в прийомі та передачі даних з серверу. Тож цей блок виконує функції не тільки передавача але прийомопередавача.

Перетворювач DC/DC 36В в 24В слугує для пониження вхідної напруги, що надходить із зовнішнього джерела живлення. Використовується для живлення 8-бітного інтерфейсу зв'язку зі станком та перетворювача DC/DC 24В в 5В.

Перетворювач DC/DC 24В в 5В використовується пониження вхідної напруги, що надходить з перетворювача DC/DC 36В в 24В. Головна функція - живлення мікроконтролера та Wi-Fi модулю.

Блок USB використовується для підключення приладу до комп'ютера. Це відбувається за допомогою USB шини. Додатково блок використовується для

перепрограмування мікроконтролера.

Блок 8-бітний інтерфейс використовується для безпосереднього з'єднання пристрою з іншими пристроями. Дозволяє робити із мікроконтролера контролер станків, відправляти у мережу повідомлення сформовані зовнішніми пристроями та перенаправляти їх у зовнішній пристрій.

## 2.2 Вибір мікроконтролера

ATMega16 – мікроконтролер виробництва

MICROCHIP (ATMEL). Для роботи потрібно живлення на 3.3 вольти, які можна буде отримувати як із USB роз'єму при підключенні до комп'ютера, так і з перетворювача DC/DC напруги 24В в 5В[6][7][8][9][10][11][12][13][14].

Характеристики:

Робоча напруга живлення – 3,3В

Діапазон вхідної напруги живлення – 2,7В-5,5В

Максимальна частота - 16 МГц

Максимальна частота без використання зовнішнього резонатора – 8МГц

Робоча температура - -40С +85С

Флеш-пам'ять – 16 Кбайт

ОЗП – 1 Кбайт SRAM пам'ят

Кількість вводів-виводів – 32

Кількість таймерів – 3 (Включаючи 1 16-розрядний таймер)

Інтерфейси для взаємодії з зовнішніми пристроями:

- I2C
- UART
- SPI
- USB

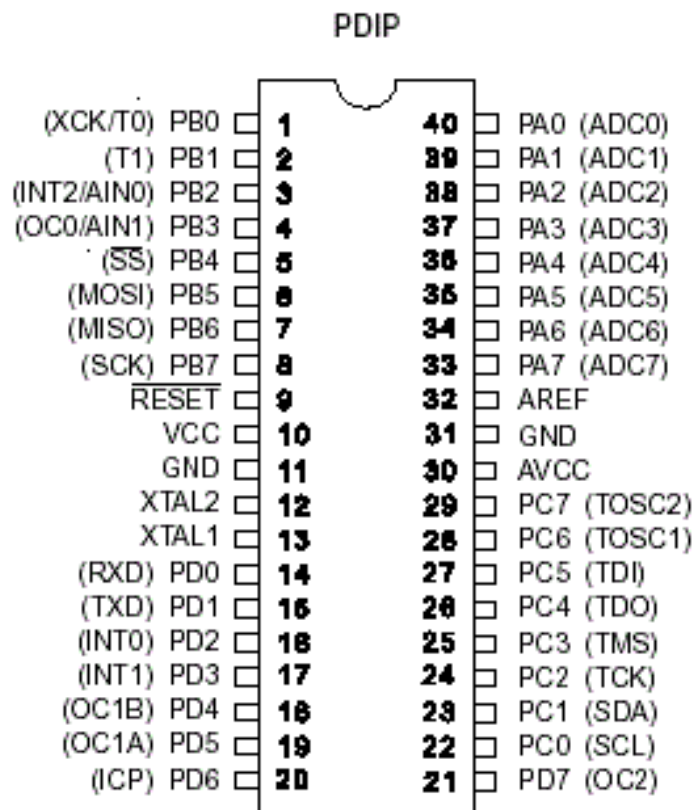


Рис.2.2 Розташування вводів-виводів на ATmega16

Для налаштування конфігурації та створення автозавантажувача для мікроконтролера використовується програмне забезпечення Arduino IDE. Воно дозволяє задати необхідні параметри при включенні пристрою. Також в цій програмі можна налаштувати необхідні для роботи приладу інтерфейси. В данному випадку будуть використовуватися USB, UART та цифрові виводи. Відповідні піни налаштовуються в програмі Arduino IDE.

Для досягнення максимальної частоти роботи буде використовуватися зовнішній кварцовий резонатор на 16 МГц. Для підвищення стабільності роботи навколо ставляться рекомендовані конденсатори відповідно до документації на мікроконтролер[6].

## 2.3 Розробка модулю 8-бітного інтерфейсу

Для підключення до станку необхідно використовувати цифрову 8-бітну шину. Для реалізації цієї шини використовується схема транзисторного ключа з гальванічною розв'язкою, для реалізації даної схеми будуть використані транзистори BCP54TA та оптопари H11L1MS.

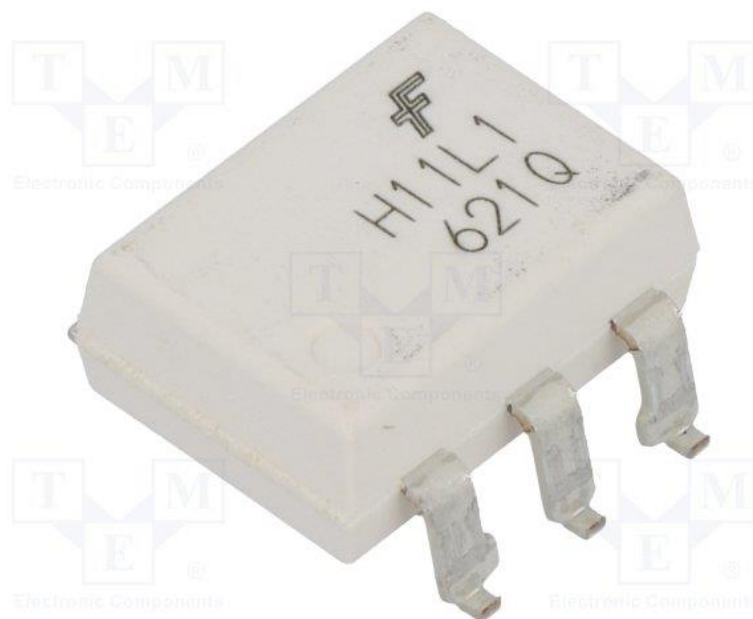


Рис.2.3 Оптопара H11L1MS

Оптопара H11L1MS (Рис.2.3) розроблено фірмою Fairchild Semiconductor. Використовується у низькошвидкісних системах. Дозволяє підключитися до транзисторного ключа з реалізацією гальванічної розв'язки для захисту мікроконтролера[2][3].

Характеристики:

Діапазон напруги живлення від 3В до 16В

вихідний діапазон напруги від 0В до 16В

Час комутації –  $1.2\mu s$ .

Максимальна робоча частота – 1МГц



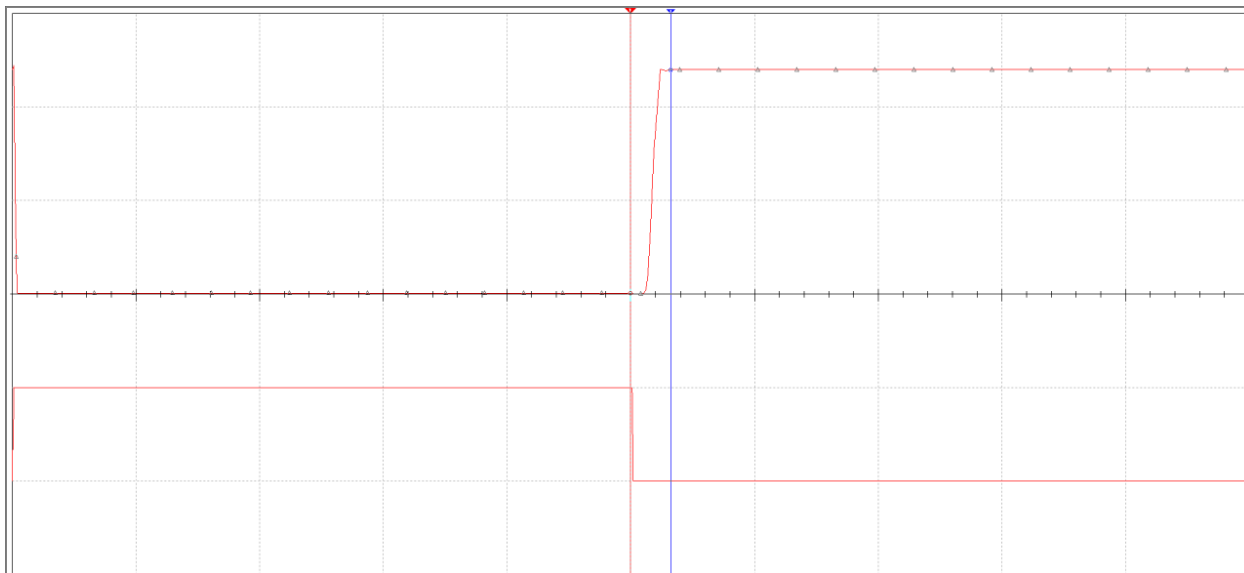


Рис.2.4 Осцилограма оптопарі Н11L1MS

На рис 2.4 зображена осцилограма порівняння вхідного та вихідного сигналів оптопарі. З даної осцилограми ми можемо бачити що при передачі сигналу виникає певна затримка між входом та виходом яка складає близько 3 нано секунд при граничній частоті роботи оптопарі в 1 МГц, що складає лише 0,3% від загального періоду сигналу та не є критичним для забезпечення необхідних параметрів для роботи приладу[2][3].

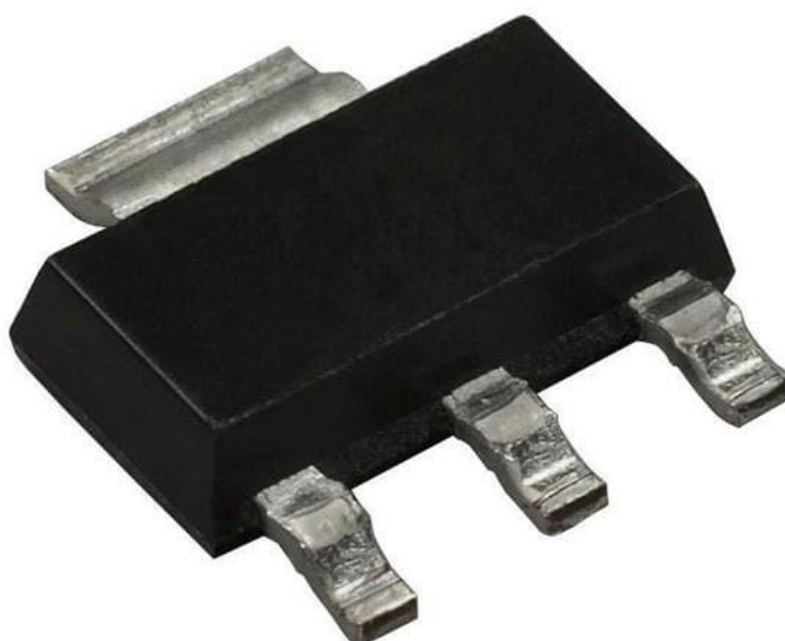


Рис.2.5 транзистор BCP54TA

ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата

БР. 6.050802.051.016 ПЗ

Анк

21

Основною функцією модулю, окрім створення з'єднання пристрою з мережею, є реалізація збільшення амплітуди вихідного сигналу до рівня 24В, обраний транзистор володіє дещо надмірними параметрами для забезпечення підвищеної надійності роботи схеми та захисту у випадку позаштатних ситуацій[2][3].

Характеристики:

Максимальна напруга колектор-емітер – 45В

Струм колектору – 1А

Струм колектору в імпульсному режимі – 2А

Максимальна робоча частота – 150МГц

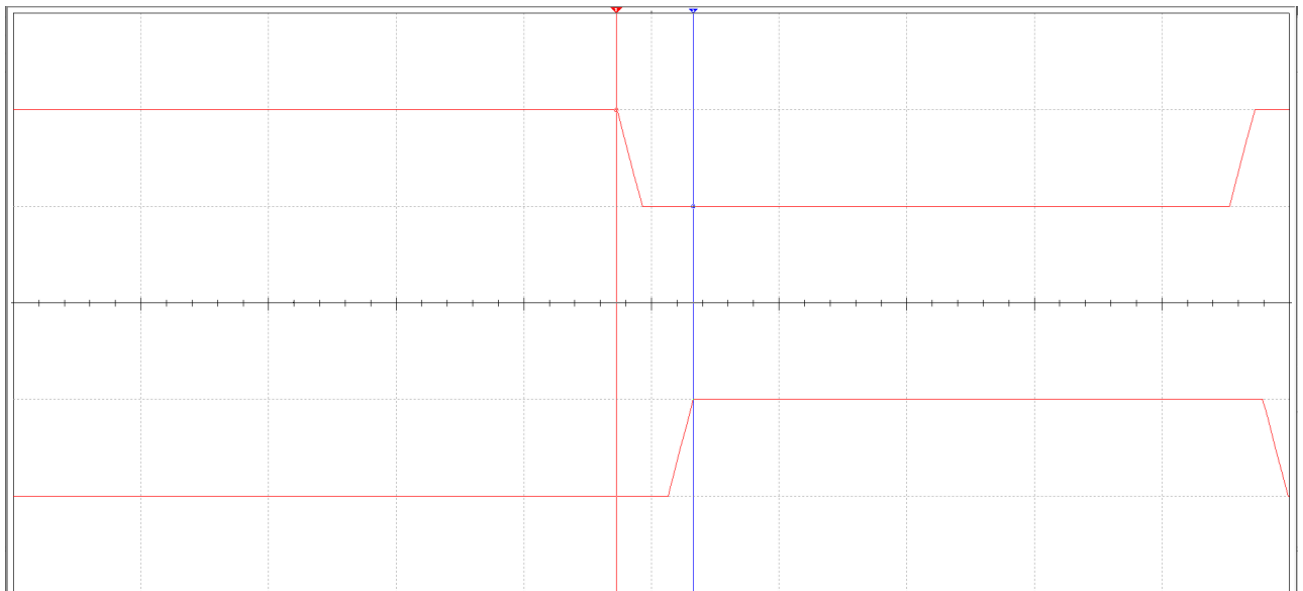


Рис.2.6 Осцилограма транзистора BCP54TA

На рис 2.6 зображена осцилограма порівняння вхідного та вихідного сигналів оптопар. З даної осцилограми ми можемо бачити що при передачі сигналу виникає певна затримка між входом та виходом яка складає близько 5 нано секунд при частоті роботи транзистора в 1 МГц, що складає лише 0,5% від загального періоду сигналу та не є критичним для забезпечення необхідних

параметрів для роботи приладу[2][3].

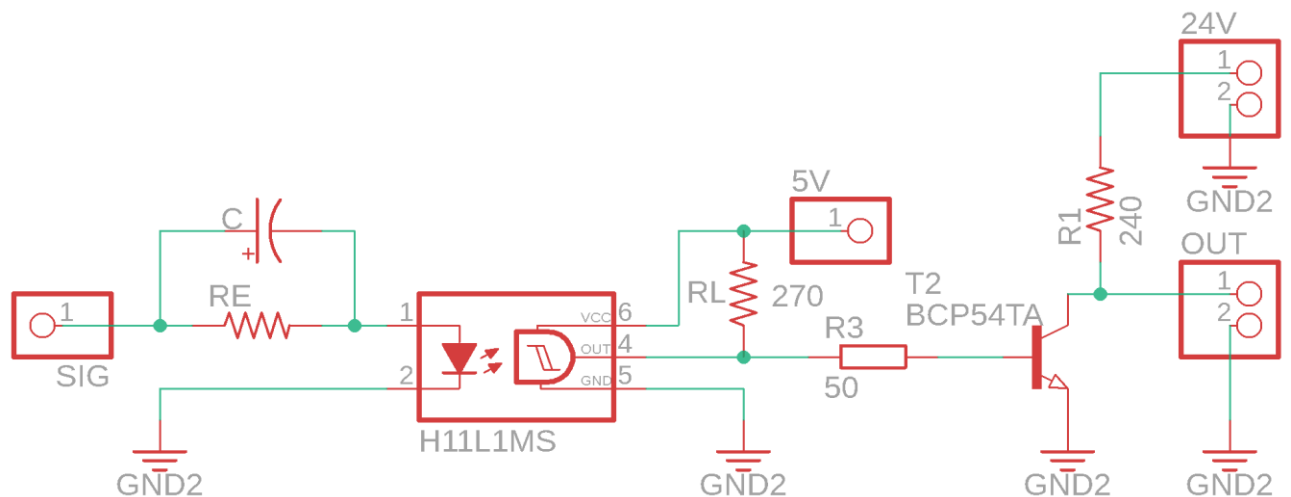


Рис. 2.7 Схема вузлу 8-бітного інтерфейсу у програмі EAGLE

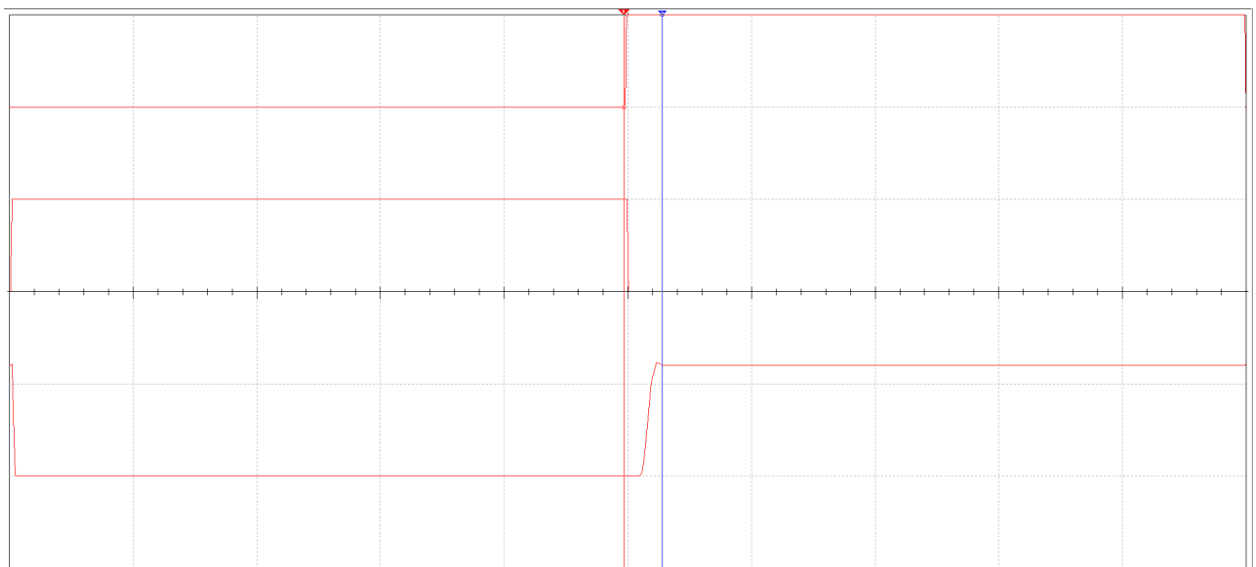


Рис.2.8 Осцилограма вузлу 8-бітного інтерфейсу

На рис 2.8 зображена осцилограма порівняння вхідного та вихідного сигналів на вузлах 8-бітного інтерфейсу. З даної осцилограми ми можемо

бачити що при передачі сигналу виникає певна затримка між входом та виходом яка складає близько 20 нано секунд при частоті роботи шини в 1 МГц, що складає лише 2% від загального періоду сигналу та не є критичним для забезпечення необхідних параметрів для роботи приладу.

## 2.4 Розробка модулю перетворювача DC/DC 36В в 24В

Так як мережа має 36В, а живлення від інтерфейсу USB є 5В, то використовується перетворювач напруги. В схемі буде використовуватися стабілізатор напруги LM7824 (Рис.2.9).



Рис.2.9 Зовнішній вигляд DC-DC перетворювача LM7824

Це стабілізатор напруги, заснований на потужному 42-х вольтовому MOSFET транзисторі всередині. Також має вбудований захист від перенавантаження та самовиключення при надтемпературі.

Характеристики:

Вхідна напруга – 26В~40В

Вихідна напруга – 24В

Максимальний вихідний струм – 1.5А

Робоча температура – -20°C~125°C

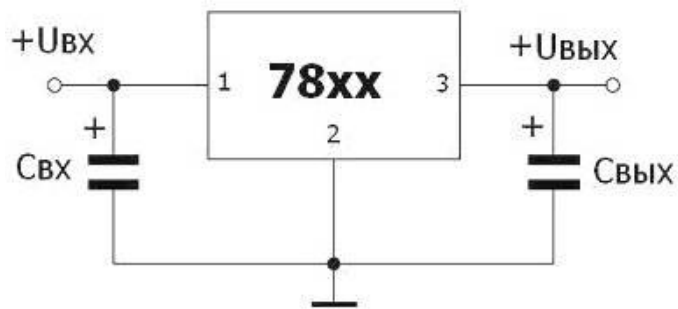


Рис.2.10 Типова схема підключення LM7824

На рис. 2.10 Зображена схема підключення понижуючого DC-DC перетворювача.

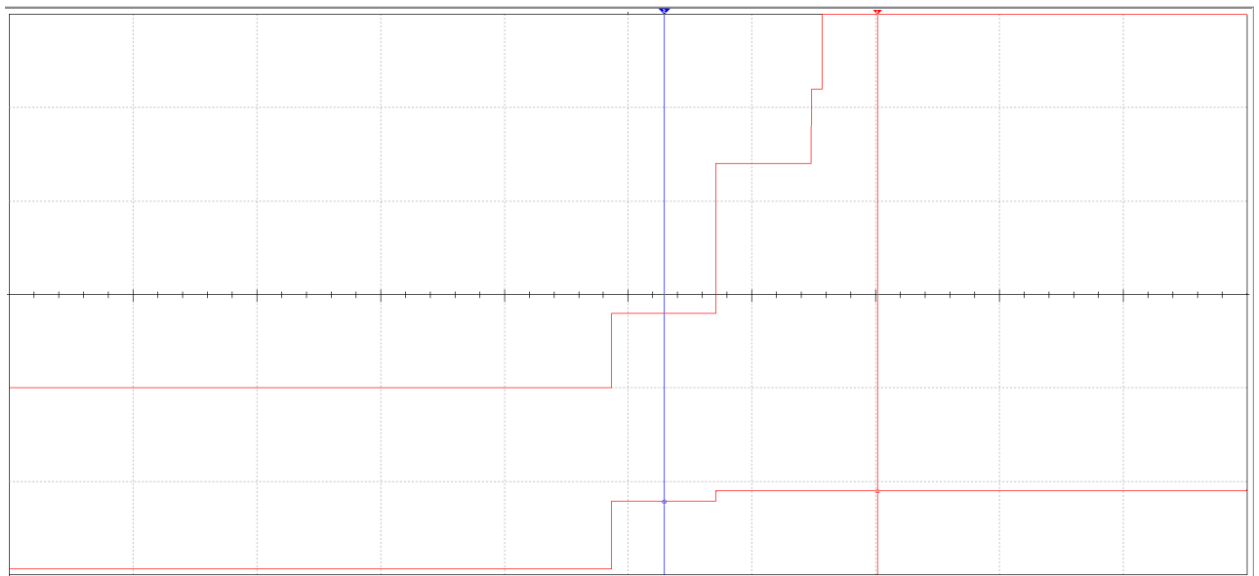


Рис. 2.11 Осцилограма LM7824

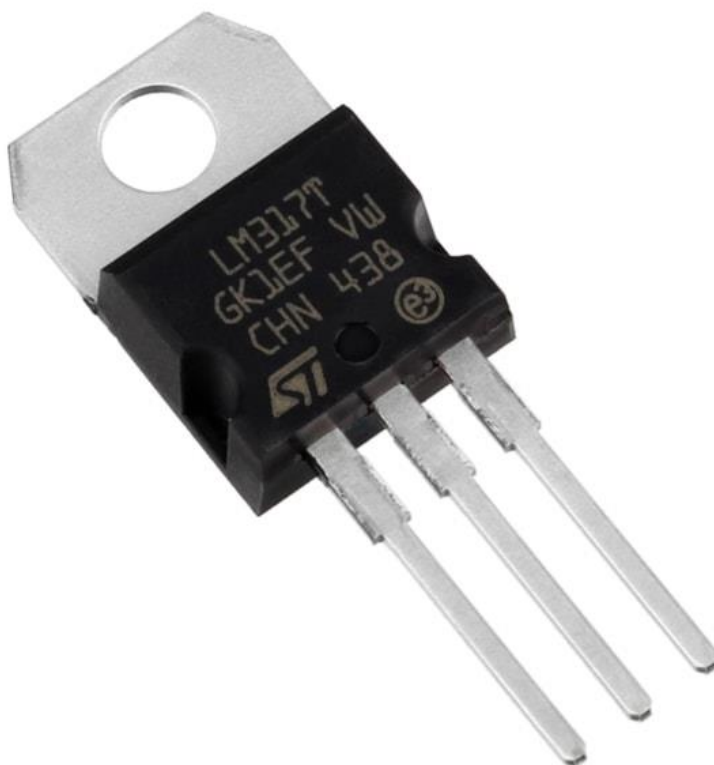
На рис 2.11 зображена осцилограма порівняння вхідної та вихідної напруги лінійного стабілізатора LM7824. З даної осцилограми ми можемо бачити що при зміні вхідної напруги в межах робочих напруг відхилення від необхідної напруги в 24В складає лише 100мВ що не є критичним для даної схеми, але при зниженні напруги нижче 25В спостерігається падіння вихідної напруги.

## 2.5 Розробка модулю перетворювача DC/DC 24В в 5В

Згідно з технічним завданням зовнішня напруга живлення повинна складати 36В. Для живлення мікроконтролера, оптопар та Wi-Fi модулю необхідно понизити напругу живлення до 5В, тому доцільно використовувати перетворювач напруги LM317. Мікросхема LM317 є регульованим стабілізатором напруги.

Мікроконтролер ATMega16 має живлення від 2,7В до 5,5В. А оскільки, перетворювач дає напругу в 24В, тому необхідно встановити на схему понижуючий стабілізатор напруги. У схемі буде використовуватися живлення на 5В, оскільки це є найбільш популярною та загальною практикою для живлення подібних мікроконтролерів.

За основу обрано мікросхему LM317, її зовнішній вигляд можна проспостерігати на рис.3.10 що повністю задовільняє усім умовам експлуатації. Це універсальний та високоефективний лінійний регулятор напруги з широким діапазоном температур та регулюванням ліній-навантаження.



ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата

БР. 6.050802.051.016 ПЗ

Анк

26

Рис. 2.12 Понижуючий стабілізатор напруги LM317

Характеристики:

Вхідна напруга – 24В

Вихідна напруга – 5В

Максимальний струм – 1,5А

Максимальна вхідна напруга – 37В

Типова схема підключення представлена на Рис. 2.13 Вхідний та вихідний конденсатор необхідний для вдосконалення тимчасової реакції та стабільності.

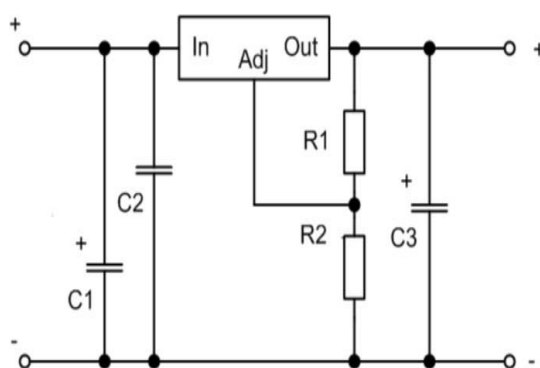


Рис.2.13 Типове підключення регулятора напруги LM317

Для налаштування необхідної вихідної напруги стабілізатора, на піні Adj підбираються необхідні номінали.

На рис. 2.13 представлено типовий дільник дільник напруги. Для пошуку значення вихідної напруги буде використано формулу:

$$V_{out} = \frac{(R1+R2)}{R2} \times 1.25[V] \quad (1)$$

Але при цьому, відповідно до документації, номінали повинні задовільняти умові:

$$R1 + R2 \leq V_{out} \times 10^3 \quad (2)$$

Отже, для вихідної напруги, рівної 5 вольтам необхідно використовувати номінали резисторів  $R1 = 3 \text{ кОм}$ , а  $R2 = 1 \text{ кОм}$ .

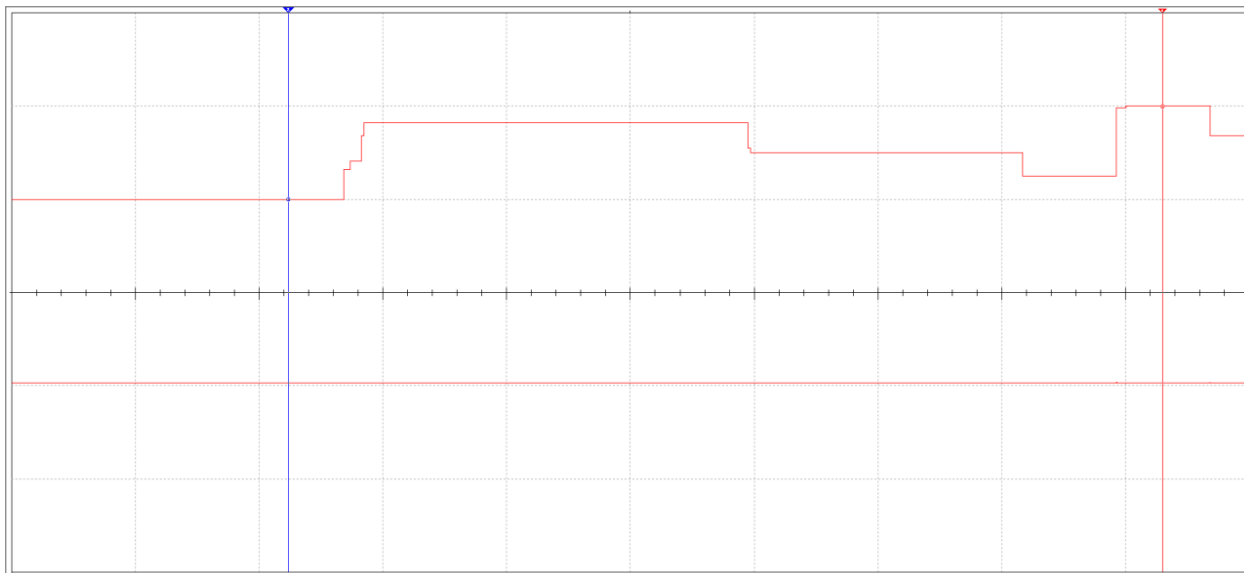


Рис.2.14 Осцилограма LM7824

На рис 2.14 зображена осцилограма порівняння вхідної та вихідної напруги лінійного стабілізатора LM317. З даної осцилограми ми можемо бачити що при зміні вхідної напруги в межах робочих напруг відхилення від необхідної напруги в 5В складає лише 10мВ що не є критичним для даної схеми і навіть при коливанні вхідної напруги від 20В до 35В коливань вихідної напруги не спостерігається.

## 2.6 Розробка 8-бітного виходу

Шина зв'язку зі станком для передачі корисного сигналу використовує пару мідних дротів. Між тим, для живлення системи використовують 36В постійної напруги. Додатково можна додати, що за умовами експлуатації, пристрій повинен приєднуватися як до мережі напруги, до сигнальних дротів для діагностики та налаштування, так і використовуватися у якості повноцінної ноди у системі. Тому буде обрано клемний роз'єм DG306-5.0-09P (Рис. 2.15) від компанії Degson.

ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата



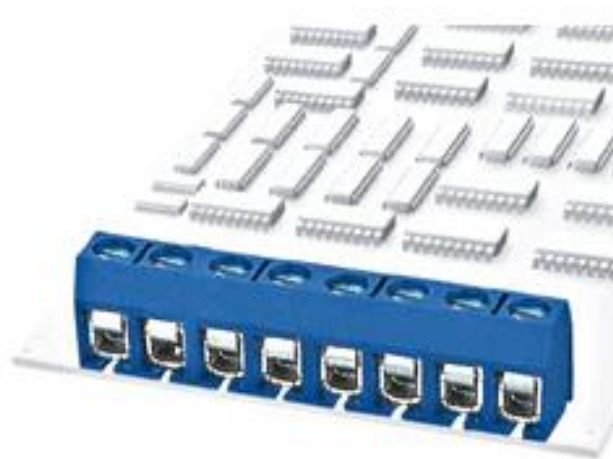


Рис. 2.15 Клемний з'єднувач DG306-5.0-09P

## 2.7 Розробка модулю шини USB

Для з'єднання пристрою з комп'ютером використовується USB шина. Це послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв обчислювальної техніки. USB інтерфейс має виконувати дві головні цілі:

- Живлення пристрою
- Передача медіа сигналу від пристрою на комп'ютер та навпаки

На даний момент існує декілька специфікацій протоколу USB:

USB 1.0 – швидкість до 1,5 Мбіт/с;

USB 2.0 – швидкість до 480 Мбіт/с;

USB 3.0 – швидкість до 5 Гбіт/с;

USB 3.2 – швидкість до 20 Гбіт/с;

Враховуючи швидкодію пристрою, для цього проекту буде обрано стандарт USB 2.0 так як на сьогоднішній день це найрозповсюдженіша специфікація, яка повністю задовільняє усім умовам і не є надлишковою для цього проекту.

Оскільки система буде переносною, то обрано тип роз'єму USB B, а саме гніздо UX60-MB-5ST, так як кабелі цього типу є дуже популярними.



Рис. 2.16 Гніздо USB2.0 UX60-MB-5ST

Пристрої можуть живитися від USB2.0 шини. За замовченням усім пристроям гарантується струм 100 мА та 500мА при узгодженні з хост-контролером. Оскільки наш пристрій буде завжди працювати у режимі Communication Device і комп'ютер автоматично буде видавати адресу, то на пристрій завжди буде отримувати 500мА струму.

За стандартом USB2.0 лінії даних не можна приєднувати до мікроконтролера напряму. Напруга на сигнальних дротах D+ та D- становить 5В, але для роботи з мікроконтролером потрібно мати 3.6В. Тому доведеться понизити напругу сигнальних ліній за допомогою резисторів та стабілітронів 1SMB5914BT36. Така схема підключення чітко прописана у стандарті USB і буде використана на даній схемі. Значення номіналів резисторів знаходяться з формули закону Ома, враховуючи, що  $I_{max}$  для stm32f105 становить 16 мА:

$$R = \frac{U}{I_{max}} = \frac{3.6}{0.16} = 220\text{м} \quad (4)$$

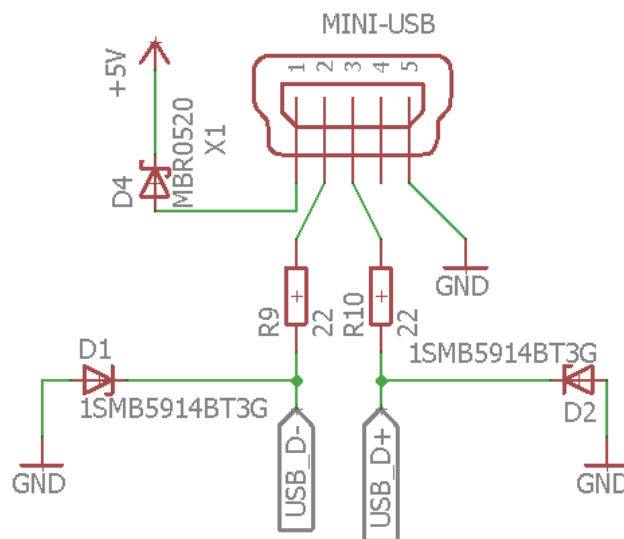


Рис. 2.17 Схема підключення USB роз'єму у програмі EAGLE

## 2.8 Розробка модулю Wi-Fi

За технічним завданням, пристрій має мати можливість підключатися до Wi-Fi мережей. У цьому випадку програмне забезпечення для мікроконтролера буде змінюватися, тому потрібно мати можливість завантажувати програмне забезпечення на контролер.

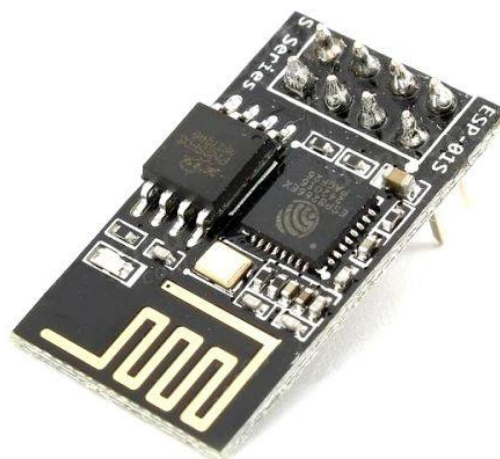


Рис.2.18 Wi-Fi модуль ESP-01

ЗМН	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата

Для реалізації даної можливості було обрано модуль Wi-Fi ESP-01(Рис. 3.16). Живлення модулю від 2,2 до 3,6 В. Споживання до 215 мА в режимі передачі, 100 мА в режимі прийому, 70 мА в режимі очікування. Підтримуються три режими зниженого живлення, все без зберігання з'єднання з точкою доступу: Modem sleep (15 мА), Light sleep (0.4 мА), Deep sleep (15 мкА).

Для обміну інформацією мікроконтролера з Wi-Fi модулем використовується інтерфейс UART (англ. *universal asynchronous receiver/transmitter* — універсальний асинхронний приймач/передавач) для послідовної та паралельної передачі даних. Для роботи протоколу потрібно 2 лінії USART\_RX, USART\_TX та земля.

Для реалізації зв'язку між мікроконтролером та Wi-Fi модулем будуть використовуватися піни під номерами 0 та 1, для забезпечення живлення цих модулів буде використовуватися стабілізована напруга отримана з лінійного стабілізатора LM317.

## Висновки

Була розроблена структурна схема що дозволяє вирішити задачі поставлені в технічному завданні, були описані модулі та компоненти системи, визначені їх функції, визначені взаємозв'язки між ними.

Була розроблена схема електрична принципова системи передачі даних, яка має наступні функції:

- Підключення до Wi-Fi мережі
- Підключення до ноутбуку
- Підключення інших пристроїв за допомогою 8-бітної шини
- Живлення від мережі 36 В
- Можливість легко завантажувати програмне забезпечення на мікроконтролер

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		33

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Друкована плата (ДП) - це пластина, що складається із плоского ізоляційного діелектрика з отворами, пазами, вирізами та системи металевих провідників (доріжок), які використовуються для встановлення та комутації радіоелементів та функціональних вузлів. Друкована плата робиться на основі електричної принципової схеми.[4][14][15][16][17][18][19] Для розробки друкованої плати необхідно виконати наступні задачі:

- вибір типу ДП;
- вибір матеріалу ДП;
- вибір класу точності ДП;
- конструкторсько-технологічний розрахунок ДП;
- електричний розрахунок ДП;
- розрахунок теплового режиму ДП;
- розрахунок віброміцності ДП;
- розрахунок надійності;
- розробка посадкових місць;
- створення плати у САПР;

### 3.1 Вибір та обґрунтування типу друкованої плати

Згідно ДСТУ 2646-94 існує 3 типи друкованих плат: односторонні (ОДП), двосторонні (ДДП), багатошарові (БДП). Вони можуть бути виконані на гнучкій (гнучка друкована плата, ГДК) чи жорсткій основі. Для виконання вибору розглянемо переваги та недоліки кожного типу плат та основні області їх застосування.

ОДП характеризуються

- можливістю забезпечити підвищені вимоги до точності виконання рисунку провідників;
- установкою навісних елементів на поверхню плати з боку, протилежній стороні пайки, без додаткової ізоляції; можливістю використання перемичок без ізоляції;
- низькою вартістю конструкції.

До недоліків ООП слід віднести низьку щільність компонування, зазвичай не перевищує  $1,5 \text{ ел/см}^2$ ; низьку теплову і механічну стійкість контактних майданчиків. Головною перевагою ОДП є її низька вартість і простота виготовлення. Застосовується, головним чином, для нескладних схем.

ДПП виконується з металізованими отворами, характеризуються високими комутаційними властивостями, підвищеною міцністю сполуки виведення навісного ЕРЕ з проводять малюнком. Недоліком ДПП є більш висока вартість в порівнянні з ОПП. Застосовується для схем підвищеної складності.

ДДП забезпечують високу щільність монтажу і гарну механічну міцність кріплення, ефективне використання поверхні друкованої плати. Недоліками є більша вартість та складність виготовлення. Використовуються в вимірювальній техніці, системах керування, автоматичного регулювання.

БДП у порівнянні з ОДП і ДДП характеризуються підвищеною щільністю монтажу, стійкістю до механічних і кліматичних впливів, зменшеними розмірами та кількістю контактів. Недоліками є висока трудомісткість виготовлення, складність отримання високої точності друкованого рисунку та суміщення шарів, низька ремонтпридатність. Для реалізації друкованого вузла

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		35

пристрою, що розробляється, доцільно використовувати ДДП, оскільки вона дасть можливість забезпечити малі розміри друкованого вузла при невеликій вартості виготовлення. ОДП збільшить результуючі габаритні розміри друкованого вузла. Використання БДП не є раціональним, оскільки нема потреби в великій кількості друкованих провідників.

### 3.2 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

Матеріал для друкованої буде обиратися у відповідності з ГОСТ 10316-76. Для виготовлення друкованих плат застосовуються багато матеріалів, такі як гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, ебоніт, мікалексу, вініпласт тощо. Розглянемо кілька матеріалів:

- Гетинакс - шаровий матеріал, виготовлений методом гарячого пресування зі спеціального паперу, змоченого фенолальдегідною або крезолальдегідною смолою. Має високі електроізоляційні властивості. Добре піддається механічній обробці.
- Текстоліт - пресований шаровий матеріал, що виготовляється з бавовняної тканини або склакотканини, змоченої фенольдегідною або крезолальдегідною смолами. Має високу теплостійкість, високі механічні властивості, добре обробляється і шліфується, стійкий проти стирання.
- Склотекстоліт - для його виготовлення застосовують скляні тканини, змочені спеціальними смолами. Відрізняється високою теплостійкістю (до 180 °C), а також високими електроізоляційними і механічними властивостями, добре обробляється.

Виходячи з вимоги підвищеної механічної міцності для носимого пристрою в якості матеріалу основи друкованої плати обирається склотекстоліт.

Фольгований склотекстоліт буває одно- і двошаровим. Дану практично схему неможливо розвести в одному шарі, крім того, при розведенні в одному шарі сильно збільшаться розміри плати, і доведеться використовувати

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
						36
Змн	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		



додаткові перехідні перемички що призведе до зниження надійності роботи пристрою в умовах підвищеної механічної вібрації та механічного перевантаження. З огляду на це, обирається двосторонній фольгований склотекстоліт з металізацією перехідних отворів .

Товщина фольги обирається рівною 35 мкм, що є достатнім для більшості малопотужних пристроїв, в тому числі, і пристрою, що розробляється. Товщина основи з фольгою обирається 1,5 мм для забезпечення задовільних механічних характеристик ДП.

Таблиця 3.1.

Матеріали друкованих плат

Назва матеріалу	Марка матеріалу	ГОСТ, ТУ	Товщина фольги, мкм	Товщина основи з фольгою, мм
Склотекстоліт фольгований двобічний	СФ-2-35	ГОСТ 10316-68	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	СФ-2-50		50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
	FR-4	IPC4101C	12, 18, 35, 70, 105	0,05 – 3,5
Склотекстоліт теплостійкий фольгований двобічний	СТФ-2	ТУ 16-503.161-77	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0

### 3.3 Вибір та обґрунтування форми та розміру друкованої плати

Прямокутна форма друкованої плати обирається з огляду на те, що так простіше розміщувати компоненти на схемі та сама плата буде розміщена у прямокутному переносному корпус

Згідно ГОСТ 10317-79 довжини сторін друкованої плати повинні бути кратними 2,5 мм при довжині до 100мм та 5мм при довжині до 350мм.

Окрім того, співвідношення сторін повинно бути не більшим ніж 1:3.

З урахуванням вимог ГОСТу, а також сумарної площі поверхні елементів друкована плата буде розміром 65x120 мм.

### 3.4 Вибір та обґрунтування класу точності

ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності (табл. 4.2). Виходячи з наведених в таблиці 4.3 геометричних розмірів та параметрів виводів мікросхем, необхідно виготовляти плату четвертого класу точності, оскільки для правильного розміщення всіх мікросхем та інших елементів необхідним є крок координатної сітки 0,2 мм.

Таблиця 3.2.

Класи точності друкованих плат

Опис	Умовне позначення	Номінальні значення основних розмірів для класу точності				
		1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника	$t$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між краями сусідніх елементів	$S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок	$b$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
Відношення мінімального діаметру металізованого отвору до товщини ДП	$\gamma$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.3.

Розміри виводів конструктивних елементів

КЕ	Ширина виводу, мм	Відстань між центрами двох сусідніх виводів, мм	Відстань між двома сусідніми виводами, мм
Резистор SMD	1,20	—	—
Конденсатор SMD	3,2	—	—
ATMega16	0,56	2,54	1,98
LM7805	1,22	2,29	1,07
LM317,LM7805	1,22	4,6	2,14

### 3.5 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати

#### 3.5.1 Розрахунок елементів печатного монтажу за постійним струмом

Ширина друкованого провідника зазвичай визначається з мінімально допустимої ширини провідника з огляду на те, який саме струм через нього протікає та мінімально допустиму ширину друкованого провідника з огляду на падіння напруги на ньому. Окрім того, мінімальна ширина провідника обмежується класом точності плати, а тому остаточну ширину визначають за формулою:

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\text{minГОСТ}}, b_{\text{minI}}, b_{\text{minU}}), \quad (1)$$

де  $b_{\text{minГОСТ}}$  – мінімальна ширина друкованого провідника відповідно до ГОСТ 23751-86;

$b_{\text{minI}}$  - мінімальна ширина силового друкованого провідника за постійним струмом;

$b_{\text{minU}}$  - мінімальна ширина силового друкованого провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Згідно обраного четвертого класу точності:  $b_{\text{minГОСТ}} = 0,15$  мм.

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника за постійним струмом:

$$b_{\text{min}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t} \quad (2)$$

$j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$  – допустима густина струму с  $h_{\text{ф}} = 35 \text{ мкм}$ , виготовлених комбінованим позитивним методом;

$t$  – товщина провідника:

$$t = h_{\text{ф}} + h_{\text{хм}} + h_{\text{зм}}. \quad (3)$$

$h_{\text{ф}} = 35 \text{ мкм}$  – товщина мідної фольги.

$h_{\text{хм}} = (0,0050,008) \text{ мм}$  товщина хімічно осадженої міді;

$h_{\text{зм}} = (0,050,06) \text{ мм}$  товщина гальванічно осадженої міді;

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Арк
						40
ЗМН	Арк	№ локум	Пілпис	Дата		

$$t = 0,035 + 0,007 + 0,055 = 0,097 \text{ (мм)}$$

$I_{max}$  – максимальний постійний струм в провіднику визначається з аналізу схеми з таблиці 4.4:

Визначимо максимальний струм споживання  $I_{max}$ . Для цього складається таблиця струмів споживання всіх мікросхем приладу.

Таблиця 3.4.

Максимальний струм споживання мікросхем приладу

Компонент	$I_{жив}, \text{мА}$	Кількість
ATMega16	16	1
LM317	100	1
H11L1MS	10	8
LM7824	100	1

$$I_{max} = \sum I = 16 + 100 + 80 + 100 = 296 \text{ (мА)}.$$

Отже, підставляючи значення у ф-лу :

$$b_{min} = \frac{0,296 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,097} = 0,63 \text{ (мм)}.$$

Мінімальна ширина силового провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому обчислюється за наступною формулою:

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}} \quad (4)$$

де  $\rho = 0,0175 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м)}$  - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим методом;

$L_{пров} = 0,11\text{м}$  - довжина найдовшого друкованого провідника на ДП;

$U_{доп} = 5\%V_{cc} = 0,6\text{В}$ - допустимий спад напруги на друкованому провіднику.

$$b_{minU} = 0,0097 \text{ (мм)}.$$

Отже, ширина силового друкованого провідника має бути не меншою, ніж:

					Анк
ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата	41

БР. 6.050802.051.016 ПЗ

$$b_{\text{дп}} = \max(b_{\text{minГОСТ}}, b_{\text{minI}}, b_{\text{minU}}) = b_{\text{minГОСТ}} = 0,15(\text{мм})$$

Всі провідники обираються з шириною 0,2 мм, що перебиває мінімальну допустиму ширину для четвертого класу точності.

### 3.5.2 Визначення номінального значення перехідних отворів

$$d = d_{\text{п}} + |\Delta d_{\text{но}}| \quad (5)$$

де,

$d_{\text{п}} = 0,38$  (мм) – мінімальний діаметр отвору, відповідно до класу точності друкованої плати;

$\Delta d_{\text{но}}$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору;

$r = 0,1 \div 0,2$  мм – різниця між мінімальним діаметром монтажного отвору і максимальним діаметром виводу.

Для інтегральних схем:

$$d = 0,38 + 0,1 = 0,48(\text{мм})$$

### 3.5.3 Визначення номінального значення монтажної отворів

$$D = d_3 + |\Delta d_{\text{но}}| + r \quad (6)$$

де,

$d_3$  – максимальний діаметр вивода конструктивного елемента;

$\Delta d_{\text{но}}$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору;

$r$  – різниця між мінімальним діаметром монтажного отвору і максимальним діаметром виводу

Для інтегральних схем:

$$d = 0,5 + 0,1 + 0,1 = 0,7(\text{мм}).$$

Максимальний діаметр отвору для контактної площадки:

$$\max d_{\text{МО}} = d + \Delta d + (0,1 \div 0,15)\text{мм} = 0,7 + 0,05 + 0,15 = 0,9(\text{мм}),$$

### 3.5.4 Визначення діаметру контактної площадки для двосторонніх ДП виготовлених комбінованим позитивним методом

Мінімальний ефективний діаметр контактної площадки

$$d_{\text{КМ}} = \max d_{\text{МО}} + 2b_{\text{ПО}} + 2\delta_0 + 2\delta_{\text{КМ}} \quad (7)$$

де,

$\max d_{\text{МО}}$  - максимальний діаметр просвердленого у друкованій платі отвору;

$b_{\text{ПО}} = 0,05 \text{ мм}$  – ширина пояса контактної площадки;

$\delta_0 = 0,07 \text{ мм}$  – похибка позиціонування центру отвору відносно вузла координатної сітки;

$\delta_{\text{КМ}} = 0,15$  – похибка позиціонування центру контактної площадки відносно вузла координатної сітки.

$$d_{\text{КМ}} = 0,9 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,44(\text{мм}),$$

Мінімальний діаметр контактної площадки:

$$\min d_{\text{КМ}} = d_{\text{КМ}} + 1,5h_{\text{Ф}} + 0,03\text{мм} = 1,44 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,54(\text{мм}),$$

де  $d_{\text{КМ}}$  - ефективний діаметр контактної площадки;

$h_{\text{Ф}} = 35 \text{ мкм}$  – товщина мідної фольги.

Максимальний діаметр контактної площадки:

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
						43
ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		

$$maxd_{KM} = mind_{KM} + 0,02\text{мм} = 1,54 + 0,02 = 1,56(\text{мм}).$$

Мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика для перехідного отвору

$$d_{KM\Pi} = d_{\Pi} + 2b_{\Pi O} + 2\delta_0 + 2\delta_{KM} \quad (8)$$

$$d_{KM\Pi} = 0,48 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 = 1,22(\text{мм}),$$

Діаметр контактної майданчика для перехідного отвору

$$d_{KM\Pi} = d_{KM\Pi} + 0,03\text{мм} = 1,22 + 0,03 = 1,25(\text{мм})$$

### 3.5.5 Визначення мінімальної відстані між елементами провідного рисунку

Мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком:

$$S_{minPKM} = L_0 - \quad (9)$$

де  $L_0 = 1 \text{ мм}$  - відстань між центрами;

$\delta_{фш} = 0,05 \text{ мм}$  – похибка розміщення контактної майданчика відносно вузла координатної сітки на фотошаблоні;

$\delta_{зс} = 0,08 \text{ мм}$  – зсув друкованого провідника відносно координатної сітки.

$$S_{minPKM} = 1,1 - (0,5 \cdot (1,56 + 0,2) + 0,05 + 0,08) = 0,18(\text{мм}),$$

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками:

$$S_{minСП} = L_0 - (b_{дп} + 2 \cdot \delta_{зс}) \quad (10)$$

$$S_{minСП} = 0,6 - (0,2 + 0,16) = 0,24(\text{мм}).$$

Мінімальний просвіт між двома сусідніми контактними майданчиками:

$$S_{minKM} = 2L_0 - (maxd_{KM} + 2\delta_{фш}) \quad (11)$$

$$S_{minKM} = 2 - (1,56 + 0,1) = 0,34(\text{мм}).$$



### 3.6. Електричний розрахунок друкованої плати

#### 3.6.1 Визначення падіння напруги на друкованих провідниках

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \rho \cdot l_{\text{пр}}}{t_{\text{пров}} \cdot b_{\text{дп}}} \quad (12)$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{0,296 \cdot 0,0175 \cdot 0,11}{0,097 \cdot 0,2} = 0,0293(\text{В}).$$

Значення спаду напруги не повинно перевищувати 5% напруги живлення схеми (для живлення +36 В: 1,8 В), оскільки ширина провідника розраховується таким чином, щоб спад напруги знаходився у вище зазначених межах. Розраховане значення падіння напруги не перевищує дозволене значення[15].

#### 3.6.2 Визначення потужності втрат

$$P_{\text{п}} = 2\pi f E_{\text{жив}}^2 \text{tg} \delta C, \quad (13)$$

де  $f$  – робоча частота електричної схеми;

$E_{\text{жив}}$  - напруга живлення пристрою;

$\text{tg} \delta$  - тангенс кута діелектричних втрат (для склотекстоліту 0,002);

$C$  – власна ємність друкованої плати.

$$C = \frac{0,009 \epsilon S}{h_{\text{дп}}}, \quad (14)$$

де  $S$  [мм<sup>2</sup>] – площа металізації;

$h_{\text{дп}} = 35$  (мкм) - товщина провідника.

$$S = L_{\text{св}} \cdot b_{\text{дп}} \quad (15)$$

$$S = 1887 \cdot 0,2 = 344(\text{мм}^2).$$

Отже:

$$C = \frac{0,009 \cdot 4 \cdot 344}{1,5} = 8,04(\text{пФ}).$$

Потужність втрат друкованої плати дорівнює:

$$P_{\text{п}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 0,002 \cdot 8,04 = 2,54(\text{мкВт}).$$

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
ЗМН	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		45

### 3.6.3 Визначення взаємної ємності паралельних провідників

$$C = K_{\text{пог}} \cdot 0,5(\varepsilon_{\text{пов}} + \varepsilon_{\text{дп}}) \cdot l_{\text{пар}} \quad (16)$$

де  $K_{\text{пог}} \left[ \frac{\text{пФ}}{\text{см}} \right]$  – коефіцієнт погонної ємності (визначається за графіком залежно від ширини друкованих провідників та просвіту між ними);

$\varepsilon_{\text{пов}} = 1$  – діелектрична стала повітря;

$\varepsilon_{\text{дп}} = 4 \div 5$  – діелектрична стала склотекстоліту;

$l_{\text{пар}} = 5,6 \text{ см}$  - взаємна протяжність двох паралельних провідників.

$$C = 0,3 \cdot 0,5(1 + 4,5) \cdot 5,6 = 4,62(\text{пФ}),$$

### 3.6.4 Визначення взаємної індуктивності паралельних провідників

Розрахунок взаємної індуктивності двох паралельних провідників обчислюється за наступною формулою[15]:

$$M = 0,02 \cdot l_{\text{шп}} \cdot \left( l_{\text{пар}} \cdot \lg \left( \frac{l_{\text{шп}}}{b+t} \right) + \frac{b+t}{l_{\text{шп}}} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

$$M = 0,02 \cdot 1887 \left( 5,6 \cdot \lg \left( \frac{1887}{0,097 + 0,5} \right) - \frac{0,097 + 0,5}{1887} + 0,5 \right) \cdot 10^{-3} = 0,7585(\text{мкГн}).$$

### 3.7. Розрахунок надійності

Надійність є одною з основних параметрів системи

Одна з найважливіших задач конструювання – розробка систем, які мають високу економічну і технічну ефективність, що в значній мірі визначається їх надійністю.

Надійність – це властивість об'єкту зберігати з часом в установлених межах значення усіх параметрів, які характеризують можливість виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, збереження і транспортування (ГОСТ 27.002-83)[15].

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
						46
Змн	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		

Виділяють два основних види надійності:

1) технічна – це надійність на відповідність ТУ і визначається в заводських умовах для усіх виробів;

2) експлуатаційна – надійність даного елемента в умовах експлуатації з урахуванням режимів роботи, місцевих умов та кваліфікації обслуговуючого персоналу. Основними властивостями цього типу надійності є безвідмовність, ремонтоздатність, довготривалість та збереження.

1.  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи;
2.  $\lambda(t)$  – інтенсивність відмов;
3.  $T$  – середній час напрацювання до першої відмови;
4.  $Q(t)$  – вірогідність відмови.

Розрахунок надійності полягає в визначенні основних показників надійності виробу за відомими характеристикам надійності складових компонентів і умов експлуатації. Дані для розрахунку надійності зведені в таблицю

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум.	Пілпис	Дата		47

Таблиця 3.5

Дані для розрахунку надійності

Найменування елементів	$N_i$	$\lambda_{03}, \text{ч-1}$	$K_H$	$a_t$	$a_3$	$\lambda_{p3i}$
Конденсатори	24	3,30E-09	0,24	0,45	10	8.55E-08
Резистори	14	3,00E-09	0,2	1,3	10	1.09E-07
Мікроконтролер	1	2,00E-09	3.11	3	9	1.67E-07
Вихідні піни	11	2,00E-09	1	1	10	2.2E-07
ATMega16	1	3,00E-09	0,8	1	9	2,16E-08
LM317	1	3,00E-09	0.3	1	10	9E-08
Друкована плата	2	2,00E-08	1	1	10	4E-07
Пайка виводів	193	5,00E-11	1	1	9	8.68E-08
					СУМА	1,18E-06

де,  $N_i$  – кількість елементів; $\lambda_{03}$  – інтенсивність відмов у нормальному режимі роботи; $K_H$  – коефіцієнт навантаження; $a_t$  – температурний коефіцієнт; $a_3$  – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації;

$$\lambda_{p3i} = \lambda_{03} N_i K_H a_t a_3$$

Коефіцієнти навантаження радіоелементів визначаються за формулами:

$$\text{для мікросхем } K_H = \frac{\sum_{i=1}^n I_{\text{вх}i}}{I_{\text{выхmax}}},$$

де,  $I_{\text{выхmax}}$  – максимальний вихідний струм; $I_{\text{вх}i}$  – вхідний струм мікросхем;

n – число навантажених входів;

для конденсаторів  $K_H = \frac{U}{U_{\text{доп}}}$ ,

де  $U$  – напруга на обкладках;

для резисторів  $K_H = \frac{P}{P_{\text{доп}}}$ ,

де  $P$  – розсіювана потужність.

1) Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{рез}}} = \frac{1}{9,810} = 10194 \text{ год} \quad (18)$$

2) Вірогідність безвідмовної роботи приладу в залежності від годин:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рез}} t} \quad (19)$$

$$P(1000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,9988$$

$$P(2000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,9975$$

$$P(4000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 4000} = 0,9953$$

$$P(9000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 6000} = 0,9894$$

$$P(18000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 8000} = 0,9789$$

$$P(27000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0,9686$$

$$P(36000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 12000} = 0,9584$$

$$P(45000) = e^{-1,18 \cdot 10^{-6} \cdot 15000} = 0,9485$$

Вірогідність відмов :

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

$$(20)$$

$$Q(1000) = 1 - P(1000) = 0,0012$$

$$Q(2000) = 1 - P(2000) = 0,0025$$

$$Q(4000) = 1 - P(4000) = 0,0047$$

$$Q(9000) = 1 - P(9000) = 0,0106$$

$$Q(18000) = 1 - P(18000) = 0,0211$$

$$Q(27000) = 1 - P(27000) = 0,0314$$

$$Q(36000) = 1 - P(36000) = 0,0416$$

$$Q(45000) = 1 - P(45000) = 0,0515$$

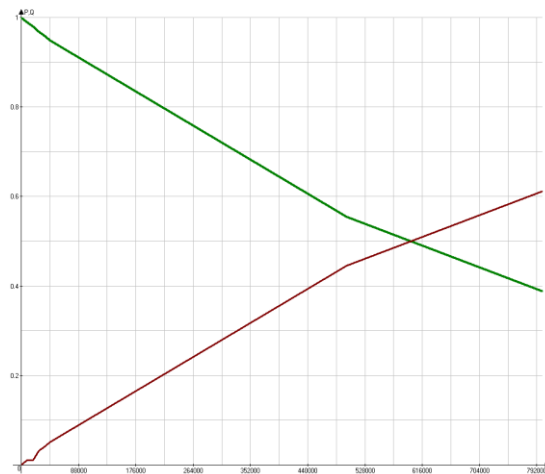


Рис.3.1. Графік імовірності безвідмовної роботи друкованого вузла

### 3.7.1 Розрахунок віброміцності

Для забезпечення віброміцності друкованої плати необхідно виконання наступних вимог:

- відсутність в конструкції механічних резонансів;
- обмеження амплітуди вібропереміщення значеннями, що виключають небезпечні механічні напруження.

Таблиця 3.6

Параметри елементів

Найменування елементів	Ni	mэ, г
Оптопари	8	9
Конденсатори	24	6
Резистори	16	2
Мікроконтролер	1	5
Вихідні піни	11	22
Стабілізатор напруги	2	5
Роз'єми	2	5

Разом		54(г)
-------	--	-------

Віброміцність друкованої плати із склотекстоліту розміром

$$a*b*\delta=75*70*1,5(мм)$$

(21)

коефіцієнт перевантаження  $n = 8$ , частота вібрацій 60Гц. Параметри склотекстоліту:

- тимчасовий опір  $\sigma_T = 105$  Мпа;
- модуль Юнга  $E = 3,2 \cdot 10^{10}$  Па;
- коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,22$ ;
- показник затухання  $\varepsilon = 0,06$ ;
- питома вага  $2050$  кг/м<sup>3</sup>;
- питома щільність  $2,05 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>;
- коефіцієнт запасу міцності  $n_1 = 2$ ;

Варіанти закріплення друкованих плат:

$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$  обпирання на 4  
сторони;

$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$  обпирання на 3  
сторони;

$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$  жорстке закріплення на 4  
сторони;

Розрахунки:

1. Маса друкованої плати і елементів:

$$m_{\pi} = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho = 0,075 \cdot 0,07 \cdot 0,0015 \cdot 2050 = 0,0079(\text{кг}) = 7,9(\text{г})$$

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
ЗМН	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		51

$$m_3 = 54(\text{г}).$$

2. Коефіцієнт  $K_B$ :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_3}{m_{II}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{54}{7.9}}} = 0,36 \quad (22)$$

Коефіцієнт  $\alpha$ . Вважається, що друкована плата жорстко закріплена на 4 сторони:

$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} = 38.86 \quad (23)$$

3. Циліндрична жорсткість  $D$ :

$$D = \frac{3.02 \cdot 10^{10} \cdot (0,0015)^3}{12 \cdot (1 - (0,22)^2)} = \frac{101,925}{11,4192} = 8,926(\text{Нм}) \quad (24)$$

4. Власна частота коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{v \cdot \delta}} = \frac{0,37 \cdot 38.6}{2 \cdot \pi \cdot 0,05^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} = 1121 * 1,68 = 1532(\text{Гц}) \quad (25)$$

5. Амплітуда вібрацій на власній частоті:

$$A = \frac{0,25 \cdot n}{f_c^2} = \frac{0,25 \cdot 8}{1532^2} = 0,000000085(\text{м}) = 0,085(\text{мкм}) \quad (26)$$

6. Коефіцієнт динамічності (у скільки разів амплітуда вимушених коливань відрізняється від амплітуди на частоті власних):

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \cdot \varepsilon^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{50}{1532}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{50}{1532}\right)^2 \cdot 0,6^2}} = 1.01 \quad (27)$$

7. Динамічний прогин:

$$W = K_d \cdot A = 1.001 \cdot 0.085 = 0,085(\text{мкм}) \quad (28)$$

Прогин  $W$  не перевищує  $\frac{1}{5}h$ , і умова віброміцності виконується



### 3.8 Розробка посадкових місць

Корпус МО-220. В цьому корпусі реалізована мікросхема АТМega16.

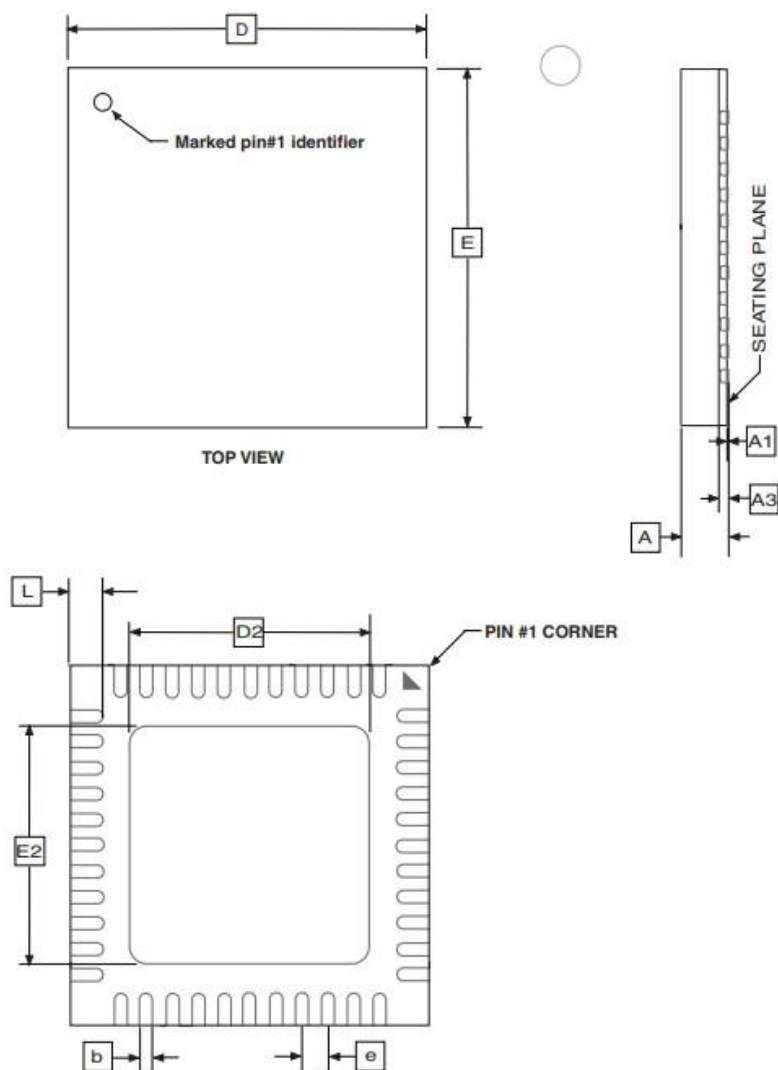


Рис 3.2 Посадкові місця для корпусу МО-220

Таблиця 3.7 Розміри посадкових місць для МО-220

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	0.8	0.9	1
A1	0	0.02	0.05
A3	0.25	0.25	0.25
B	0.18	0.23	0.3
D	7	7	7
D2	5	5.2	5.4
E	7	7	7

E2	5	5.2	5.4
E	0.5	0.5	0.5
L	0.35	0.55	0.75

Корпус SO252. У цьому корпусі реалізовані стабілізатори напруги LM317 та LM7824.

TO252-3L / DPAK

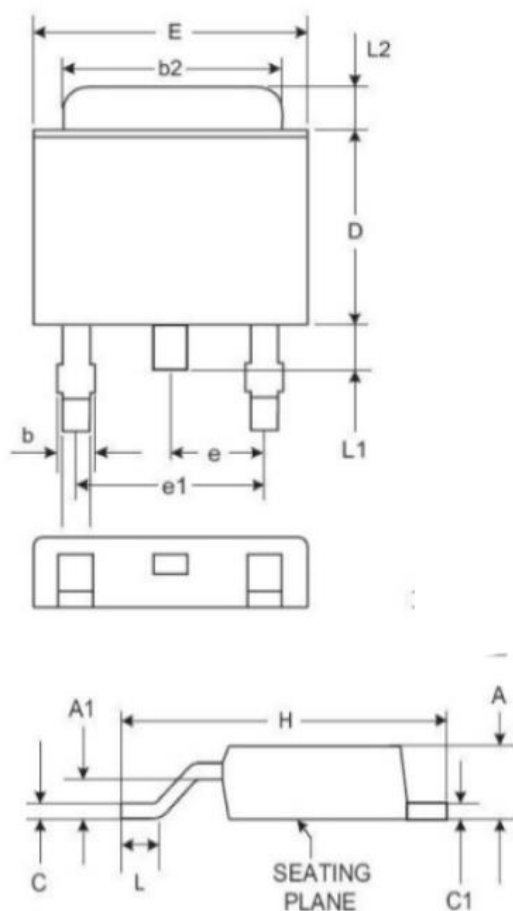


Рис 3.3 Корпус SO-252

Таблиця 3.8

Розміри для корпусу SO-252

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	2.18	2.30	2.40
A1	0.89	1	1.14

B	0.61	0.61	0.61
B2	5.20	5.35	5.5
C	0.45	0.52	0.58
D	5.4	5.8	6.2
E	6.35	6.6	6.8
e	2.28	2.28	2.28
e1	4.57	4.57	4.57
H	9	9.8	10.4
L	0.51	0.51	0.51
L1	0.64	0.85	0.1
L2	0.88	1	1.27

Корпус SSOP-6. У цьому корпусі реалізований транзистор BCP54TA для схеми.

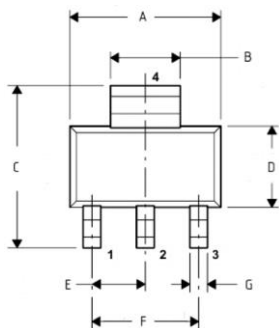


Рис 3.4 Корпус SOT-223

Таблиця 3.9

Розміри для корпусу SOT-223

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	6.8	6.8	6.8
B	3.1	3.1	3.1
C	7.3	7.3	7.3
D	3.7	3.7	3.7

E	2.3	2.3	2.3
F	4.6	4.6	4.6
G	0.84	0.84	0.84

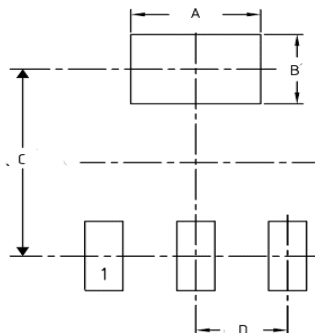


Рис 3.5 Посадкове місце для SO-14

Таблиця 3.10

Розміри для посадкового місця SO-14

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	3.25	3.25	3.25
B	2.15	2.15	3.25
C	5.8	5.8	5.8
D	2.3	2.3	2.3

Корпус SMD 0805. В цьому корпусі реалізовані резистори та конденсатори.

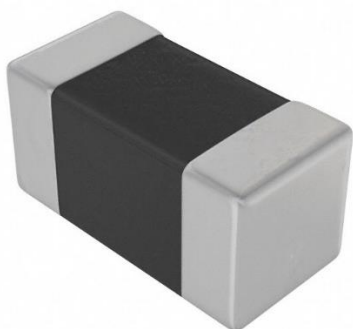


Рис 3.6 Корпус SMD 0805

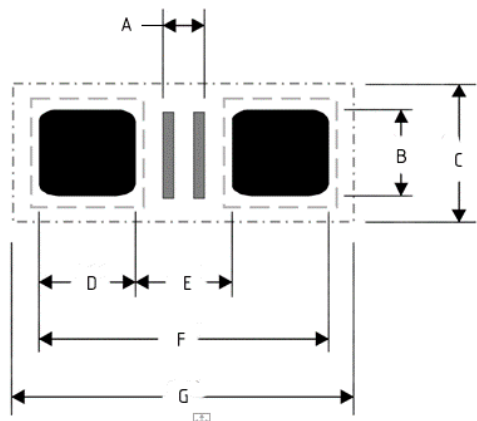


Рис 3.7 Посадкове місце SMD 0805

Таблиця 3.11

Розміри для посадкового місця SMD 0805

Літера	Мінімальний	Номінальний	Максимальний
A	1.5	1.5	1.5
B	0.8	0.8	0.8
C	1.9	1.9	1.9
D	0.9	0.9	0.9
E	2.3	2.3	2.3
F	2.7	2.7	2.7
G	3.4	3.4	3.4

### 3.9 Створення друкованої плати у САПР

Для проектування друкованої плати буде використовуватися програмне забезпечення Eagle. Eagle це система для проектування електричних принципових схем та друкованих плат, яка була розроблена компанією CadSoft Computer GmbH. Програма дозволяє експортувати та імпортувати файли до інших САПР.

Можливості САПР EAGLE:

а) Модуль електронних принципових схем

Дозволяє створювати принципові електричні схеми, проектувати

складні електронні системи. Дозволяє переключати анотацію на модуль друкованої плати. Файли зберігаються у форматі .SCH, а компоненти зберігаються в бібліотеках пристроїв з розширенням .LBR. Має вбудовані блоки:

- Схемний редактор (Використовується для розміщення компонентів на схемі, прокладення з'єднань);
- Контролер бібліотек (Дозволяє додавати, налаштовувати та створювати власні бібліотеки);
- ERC модуль (Перевірка Електричних Правил. Перевіряє узгодження схеми, а саме з'єднання елементів між собою, коректність з'єднання живлення та розриви на електричній схемі, неузгодження принципової схеми та друкованої плати);

#### б) Модуль друкованих плат

Дозволяє створити друковану плату. Якщо електрична принципова схема була вже була зібрана, то модуль автоматично підзавантажує необхідні компоненти та зв'язки між ними. Має вбудовані блоки:

- DRC (Перевірка Правил Проектування. В цьому місці потрібно задекларувати необхідні правила для друкованої плати. Наприклад, ширина доріжок, параметри отворів тощо).
- Autorouter (Автотрасування доріжок. Дозволяє автоматично прокласти маршрути для доріжок, враховуючи задані правила).
- Ratsnest ( Оптимізація. Оцінюється маршрут повітряних з'єднань та створюється найоптимальніший маршрут).

Важливою можливістю програми є створення GERBER файлів. GERBER – спеціальний файловий формат, який представляє собою спосіб опису проекту друкованої плати для виготовлення фотошаблонів на різноманітному обладнанні. Майже все сучасне обладнання дозволяє зчитувати файли у цьому форматі.

Практично всі компанії виробники друкованих плат приймають на замовлення GERBER файли.

Розробка друкованої плати у програмі EAGLE відбувається у декілька етапів.

### 1) Створення принципової схеми

Спочатку створюється електрична принципова схема, та розміщуються зв'язки у схемі. Це необхідно для автоматичного створення файлу друкованої плати .BRD.

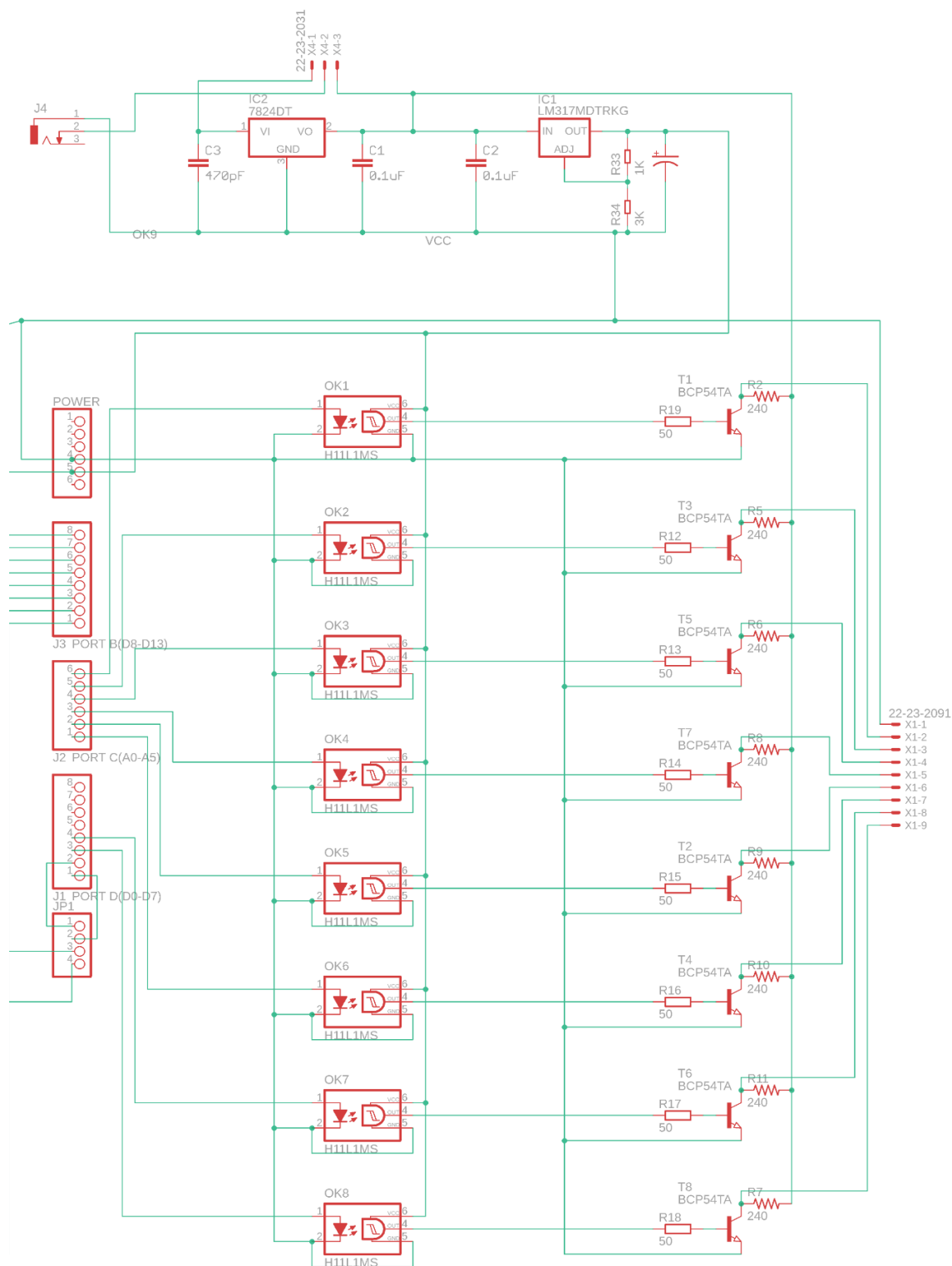


Рис.3.8 Електрична принципова схема у середовищі EAGLE

ЗМН	Арк	№ локум	Пілпис	Дата

БР. 6.050802.051.016 ПЗ

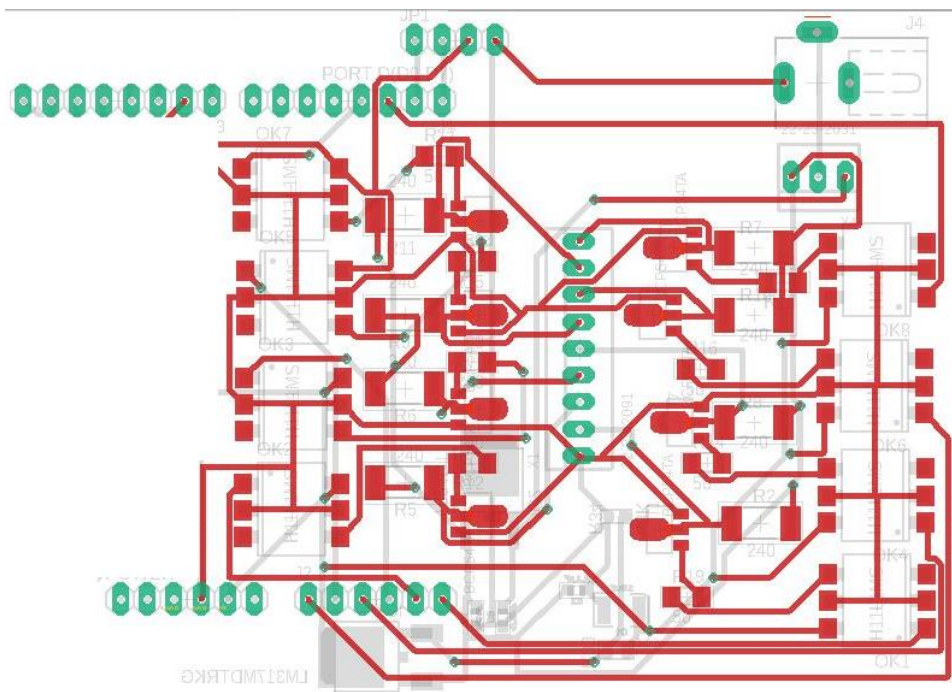
Арк

59

## 2) Створення друкованої плати

Коли принципова схема створена, можна натиснути кнопку

«Створити/переключитися на схему». Буде створено новий файл друкованої плати з необхідними компонентами. Перед тим, як виставляти та розміщувати компоненти на схемі необхідно у блоці DRC виставити розраховані раніше параметри. Виставляється мінімально допустима ширина доріжок, отворів, розміри контактних площадок, відстані між контактними площадками та елементами провідного рисунку. Після цього налаштовується контур друкованої плати та розміщуються електронні компоненти на платі. Після розміщення на платі можна увімкнути авторозведення доріжок. Якщо програма не зможе з'єднати 100% компонентів на одній стороні плати, то будуть створені перехідні отвори та продовжено розведення доріжок на іншому шарі плати. Після автотрасувальника зазвичай доводиться вручну доводити нез'єднані доріжки.





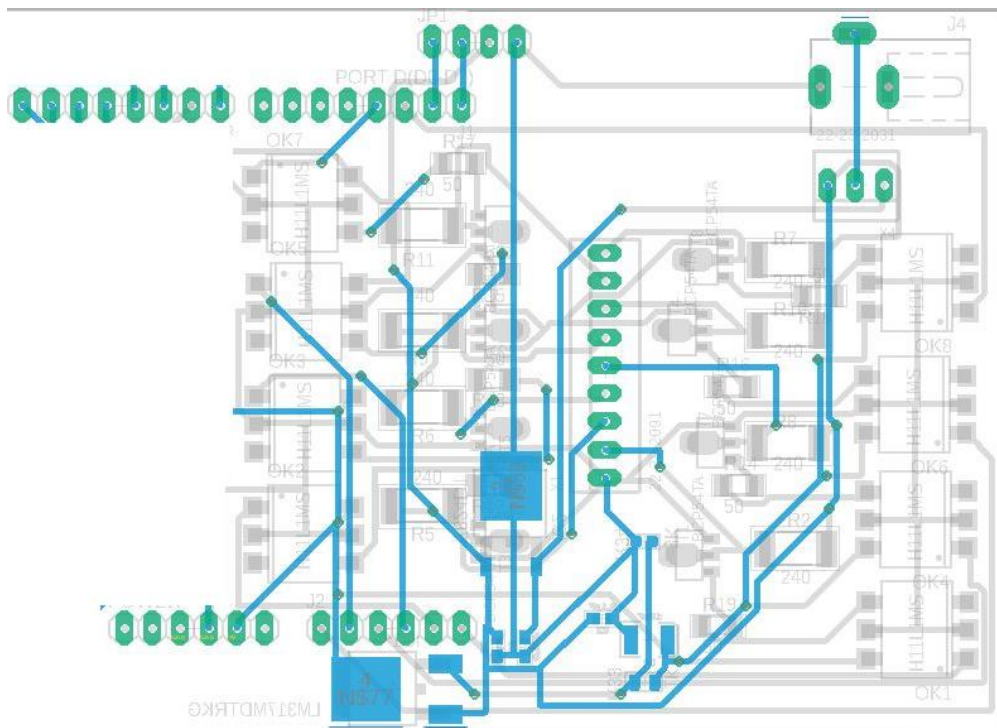


Рис 3.9. Розведена плата в середовищі EAGLE

ЗМН	Арк	№ локум	Пілпис	Дата

БР. 6.050802.051.016 ПЗ

Арк

61

## Висновки

У даному розділі було виконано наступні задачі:

- вибір та обґрунтування типу ДП;
- вибір та обґрунтування матеріалу ДП;
- вибір та обґрунтування класу точності ДП;
- конструкторсько-технологічний розрахунок ДП;
- електричний розрахунок ДП;
- розрахунок теплового режиму ДП;
- розрахунок віброміцності ДП;
- розрахунок надійності;
- розробка посадових місць;
- створення плати у програмі EAGLE;

Прийнято рішення друкований вузол виконати на двосторонній друкованій платі 3 класу точності, для підтримки МО корпусу. Розміри друкованої плати 120x65 мм, ширина друкованих провідників не менше 0,20 мм, максимальний діаметр контактного майданчика 1,8 мм, мінімальна відстань між провідником та контактним майданчиком 0,24 мм, між двома провідниками – 0,24 мм, між двома контактними майданчиками 0,34 мм. Електричний розрахунок друкованої плати підтвердив, що не перевищено допустиме падіння напруги (5% від  $U_{жив}$ ) на найдовшому провіднику.

Розрахунок віброміцності друкованого вузла підтвердив відсутність механічних резонансів, розраховане значення динамічного прогину рівне 0,085 мм, що не перевищує допустиме значення (0,3 мм).

## ВИСНОВОК

В даному дипломному проєкті було розроблено систему передачі даних для виробничих ліній. За мету була взята задача створення простого, дешевого, зручного в використанні та встановлені пристрою.

В першому розділі було розглянуто системи передачі даних. Було розглянуто існуючі модулі та типи передачі даних, їх переваги та недоліки, що дозволило обрати оптимальну комбінацію систем для підвищення функціональності пристрою.

У другому розділі були розроблені структурна та електронна принципова схеми. Розроблена система виконує наступні функції:

- Підключення до Wi-Fi мережі
- Підключення до ноутбуку
- Підключення інших пристроїв за допомогою 8-бітної шини
- Живлення від мережі 36 В
- Можливість легко завантажувати програмне забезпечення на мікроконтролер

У третьому розділі була розроблена друкована плата. Було проведено розрахунок друкованої плати. Спроектвана плата за допомогою програмного пакету Eagle Cad.

Розроблена система передачі даних повністю відповідає поставленому технічному завданню для дипломної роботи.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ локум	Пілпис	Дата		63

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимов, В. В. Інформатика: підручник для бакалаврів / В. В. Трофимов; під редакцією В. В. Трофимова. - 2-е вид., Випр. і доп. - Москва: Видавництво Юрайт, 2015. - 917 с. - (Бакалавр. Академічний курс). - ISBN 978-5-9916-1897-7. - Текст: електронний // ЕБС Юрайт [сайт]. - URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/383367> (дата звернення: 12.06.2019).
2. Леухін В.Н. Вибір елементної бази по експлуатаційним і конструктивним параметрам: Довідковий посібник. - Йошкар-Ола : [s. n.], 2003. - 87 с.
3. Короткий довідник конструктора радіоелектронної апаратури. Під ред. Варлімова Р.Г. - М.: - Рад. радіо, 2002 р. -856 с.
4. Леухін В.Н. Радіоелектронні вузли з монтажем на поверхню: конструювання та технологія: Навчальний посібник. - Йошкар-Ола : МарГТУ, 2006. - 247 с.
5. Белов А.Б. Конструювання пристроїв на мікроконтролерах / Наука і Техніка, 2005. - 255 с.
6. Предко М. Посібник з мікроконтролерам. Том 1. / Пер. з англ. під ред.І. І. Шагуріна і С.Б. Лужанського - М .: Постмаркет, 2001. - 416 с.
7. Предко М. Посібник з мікроконтролерам. Том 2. / Пер. з англ. під ред.І. І. Шагуріна і С.Б. Лужанського - М .: Постмаркет, 2001. - 488 с.
8. Вуд А. Мікропроцесори в питаннях і відповідях. / Пер. з англ. під ред. Д.А. Поспелова. - М .: Вища. 1985. - 184 с.
9. Вільямс Г.Б. Налагодження мікропроцесорних систем: / Пер. с. англ. - М .: Вища школа, 1988. - 253с.
10. Угрюмов Є.П. Цифрова схемотехніка. - Спб .: БВХ - Санкт-Петербург, 2000. - 528 с.
- 11.Алексенко А.Г., Шагуріна І.І. Мікросхемотехніка. - М .: Радио и связь, 1990. - 496 с.
- 12.Бродін Б.В., Шагуріна І.І. Мікроконтролери: Довідник. - М .: ЕКОМ, 1999. - 395 с.
- 13.Програмовані логічні ІМС на КМОП-структурах та їх застосування. / П.П.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк	№ док-м	Підпис	Дата		64

Мальцев, Н.І. Гарбузов, А.П. Шарапов, А.А. Книшев. - М .: Вища школа, 1998. - 158 с.

14.Леухін В.Н. Проектування радіоелектронних вузлів: Навчальний посібник. - Йошкар-Ола : [s. n.], 2003. - 159 с.

15.Леухін В.Н. Основи конструювання та технології виробництва РЕЗ: Навчальний посібник. -Йошкар-Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 2006. - 343 с.

16.Парфьонов А.А. Конструювання РЕА: Підручник для радіотехнічних спеціальностей ВНЗ. - М .: Вища школа, 1989. - 422 с .: іл.

17.А.П. Ненашев "Конструювання радіоелектронних засобів", Москва, "Вища школа" 1990 . - 422 с.

18.Уваров А. P-CAD 2000, ACEEL EDA. Конструювання друкованих плат.Учебний курс. - СПб .: Питер, 2001. - 320 с

19.Грачев А.А. "Конструювання електронної апаратури", М., NT Press, 2006. – 384 с.

20.Розробка та оформлення конструкторської документації РЕА. Під ред. Романичева Е.Г. - М.: Радіо зв'язок, 2005. - 448 с.

21.Соловйов В.В., Васильєв А.Г. Програмовані логічні інтегральні схеми та їх застосування. - Мн .: Беларуская наука, 1998. - 270 с.

22.Журнал "Радіо" №5. - М .: Роспечать, 2007. - 41 с .: іл.

23.Каталог "ПЛАТАН". - М .: Платан Компонентс, 2005. - 320 с .: іл.

24.Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьєва "Матеріалознавство", М. "Машинобудування", 1990 . - 527 с.

25.Анурьев В. І. Довідник конструктора-машинобудівника: У 3 т. Т3. - 8-е изд. перераб. і доп. - М .: Машинобудування, 2001. - 864 с .: іл.

# ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

## 1. Найменування і область використання.

Система передачі даних. Використання на виробництвах, для керування роботою та моніторингу стану

## 2. Основа для виконання роботи.

Основою для проектування є завдання на дипломний проект.

## 3. Мета і призначення розробки.

Метою розробки є схемотехнічне проектування апаратно – програмного комплексу електронної системи передачі даних. Система призначена для обробки даних та передачі на станки які використовуються на виробничих лініях.

## 4. Технічні вимоги.

### 4.1. Вимоги до функціональних характеристик системи.

- Можливість забезпечувати постійний моніторинг даних, що надходять до станку;
- Збір та зберігання даних, що надходять з цифрових датчиків обладнання , та зберігання їх на сервері для подальшої обробки;
- Легкий доступ до даних через мережу Інтернет.

### 4.2. Вимоги до надійності системи.

Час напрацювання за раптовими відмовами не менше 25 тис. годин. Система має містити гальванічну розв'язку для більшого захисту від раптових стрибків напруги та струму.

### 4.3. Вимоги до технологічності.

Використання сучасної елементної бази з покращеними експлуатаційними характеристиками. Можливість виготовлення на обладнанні, до якого не висувається підвищених вимог.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ						
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
Розроб.		Молочко О.С.			Система передачі даних			Літ	Арк	Арквипів	
Перевір.		Бевза О.М.								10	67
Реценз.								«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51			
Н. Контр.		Чадюк В.О.									
Затверд.		Писаренко Л.Д.									

#### 4.4. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

Використання технологій та елементів, регламентованих стандартами, прийнятими на території України. Максимально уніфікувати деталі.

#### 5. Вимоги до складових частин виробу, сировини та експлуатаційних матеріалів.

Використовувати матеріали та компоненти серійного виробництва помірної вартості. Конструкція виробу має бути ремонтпридатною та забезпечувати можливість заміни елементів.

#### 6. Результати роботи.

Робота повинна містити наступні документи:

- пояснювальну записку;
- схему електричну принципову;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати;
- перелік елементів;
- специфікацію;
- додатки.

					БР. 6.050802.051.016 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Піппис	Дата		67

[illegible]



[illegible]

